UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

Cleonir Tumelero

Cooperação em P&D e ecoinovações:
influência sobre o desempenho socioeconômico de empresas

São Paulo
2017

Prof. Dr. Marco Antonio Zago
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Adalberto Américo Fischmann
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Roberto Sbragia
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Júnior
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

CLEONIR TUMELERO

Cooperação em P&D e ecoinovações:
influência sobre o desempenho socioeconômico de empresas

Versão corrigida

Tese apresentada ao Departamento de
Administração da Faculdade de
Economia, Administração e Contabilidade
da Universidade de São Paulo, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Doutor em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Roberto Sbragia

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Tumelero, Cleonir

Cooperação em P&D e ecoinovações: influência sobre o desempenho socioeconômico de empresas / Cleonir Tumelero. – São Paulo, 2017. 112 p.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2018.
Orientador: Roberto Sbragia.

1. Cooperação 2. Pesquisa e desenvolvimento 3. Ecoinovação 4. Desempenho socioeconômico 5. Holismo 6. Triple Bottom Line I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

CDD – 658.047

À Mãe Terra, Pachamama-Gaia,
nobre morada deste tempo!

Agradecimentos

Aos Mestres, em especial ao meu orientador Professor Roberto Sbragia, por me conduzir seguro na senda científica.

Ao meu co-orientador Professor Steve Evans, por impulsionar a pesquisa para a fronteira da sustentabilidade industrial.

À minha Família, com amor, em especial aos meus pais Almeda e Olinto Tumelero, a quem rendo graças pela vida! Pela alegria desta jornada, aos meus queridos irmãos Claudete, Claudir, Clainês, Cleci, Claudecir, Clauvir, Clarice e Cledinei, e cunhados e sobrinhos.

Aos meus Professores, pela inspiração e amizade, Isak Kruglianskas, Jacques Markovitch, Felipe Borini, Diógenes de Souza Bido, Carlos Arruda, Moacir Oliveira Júnior, João Maurício Boaventura, Silvio Aparecido dos Santos, Flávio Hourneaux Junior, Guilherme Ary Plonski e Cláudia Kniess.

À Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, pela excelência em ensino e pesquisa.

Ao Institute for Manufacturing da Universidade de Cambridge, por me apresentar a vanguarda tecnológica em sustentabilidade industrial.

Aos amigos e colaboradores da Secretaria de Pós-graduação em Administração, Secretaria Geral e Biblioteca da FEA-USP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Aos meus queridos amigos, companheiros, inspiradores e cocriadores deste trabalho, Thiago Sabino, Cláudia Luz Manólio, Carlos Freitas, Eliane Seben, Thiago Barreto, Nilce Barreto, Maria de Lourdes Nadalin, Renato Nadalin, Anne Raicher, Roberto Rodrigues, Igor Xanthopulo, Abraham Contreras, Crounel Marins, Jonathan Ribeiro, Ana Elisa Castro, Paulo Savaget, Ana Carolina Shinoda, Bárbara Freitag, Martín Merino, Raphael Donaire, Adriano Neves, Nei Grando, Carlos Perim, Carlos Vargas, Vivian da Matta, Natan Marques, Ricardo Yugue, Ananda Pimenta, Kleber Kaplar, Valéria Mercado, Dinho Mercado, Miriam Gomes, Elizabeth Bastos, Vera Lúcia Jenotti, Fábio Bertassi, Monica de Mesquita e Georita Harriott.

Aos demais cocriadores deste trabalho, os cientistas que pavimentaram as teorias precedentes e os 221 executivos que responderam à pesquisa.

Aos familiares, colegas, professores e amigos que não foram aqui citados, mas que contribuíram e incentivaram este estudo de alguma forma.

Chega uma hora que Chega!

RESUMO

Tumelero, C. (2017). *Cooperação em P&D e ecoinovações: influência sobre o desempenho socioeconômico de empresas* (Tese de Doutorado). Faculdade de Economia Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A adoção de rotas tecnológicas ambientalmente sustentáveis é uma estratégia acertada para empresas que queiram manter ou melhorar suas posições de mercado e contribuir para a prevenção e adaptação às mudanças climáticas globais. É nessa perspectiva da inovação e da sustentabilidade que este estudo avaliou a influência da cooperação em P&D e das ecoinovações sobre o desempenho socioeconômico de 221 fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos. As teorias de Gaia, do Holismo e a teoria evolucionária da inovação predominantemente orientaram o estudo. Os dados foram coletados em 2017 e processados via SmartPLS[®]3. Por meio da técnica de Modelagem de Equações Estruturais o modelo conceitual do estudo foi validado com 99% de confiabilidade ($p < 0,01$), demonstrando com originalidade que a cooperação em P&D e as ecoinovações explicaram satisfatoriamente em 51,3% o desempenho socioeconômico das empresas pesquisadas. Três hipóteses comprovaram que a cooperação em P&D com parceiros tecnológicos influenciou positivamente a introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais nas empresas investigadas. Duas hipóteses comprovaram que ecoinovações de produto e ecoinovações organizacionais influenciaram positivamente o desempenho socioeconômico das empresas. Uma hipótese não comprovada demonstrou que ecoinovações de processo não influenciaram positivamente o desempenho socioeconômico das empresas. Dos atributos de ecoinovação, três não foram validados estatisticamente: a simplificação das embalagens, a simplificação da construção e a eficiência energética dos produtos desenvolvidos. Apesar de os atributos não validados demonstrarem atraso tecnológico dos produtos elétricos e eletrônicos, há predominância de uma rota tecnológica ambientalmente sustentável nas empresas, o que é um visível diferencial competitivo. São notáveis as implicações deste estudo a partir dos emergentes paradigmas da economia circular e da economia verde. Se cooperação em P&D e ecoinovações permitiram resultados socioeconômicos satisfatórios, em empresas distintas usuárias de minerais e de energia elétrica, então cai por terra o paradigma da inovação poluidora, que ignora que recursos naturais são finitos. Fica evidente que o paradigma *Triple Bottom Line*, que considera o equilíbrio entre as dimensões ambiental, social e econômica, possui base viável para a indústria do terceiro milênio. Emerge nas empresas a responsabilidade de ancorar a mudança tecnológica em todos os elos de suas cadeias de valor, desde a extração de matérias primas da natureza até a educação de consumidores para o uso e descarte consciente de produtos. É possível sugerir que não corrigir a rota tecnológica baseada no paradigma econômico dos excessos sobre os recursos planetários pode ser qualificado como responsabilidade corporativa de lesa ao Planeta. Ademais, indústrias e cadeias de valor de base poluidora parecem estar fadadas ao desaparecimento. Os resultados deste estudo são restritos à amostra de indústrias investigadas no Brasil. Temas com potencial de pesquisa emergem em simbiose e biomimética industrial, sistemas de ecoinovação em *Smart Cities*, ecoinovação social, ecoinovação de marketing e ecoinovações na Indústria 4.0.

Palavras-chave: Cooperação. Desempenho socioeconômico. Ecoinovação. Holismo. Pesquisa e desenvolvimento. Triple Bottom Line.

ABSTRACT

Tumelero, C. (2017). *Cooperation in R & D and eco-innovations: influence on companies' socioeconomic performance* (Tese de Doutorado). Faculdade de Economia Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The adoption of environmentally sustainable technology routes is a sound strategy for companies that want to maintain or improve their market positions and contribute to the prevention and adaptation to global climate change. In this perspective of innovation and sustainability, this study evaluated the influence of cooperation in R & D and of eco-innovations on the socioeconomic performance of 221 manufacturers of electric and electronic products. The theories of Gaia, Holism and the evolutionary theory of innovation predominantly guided the study. Data were collected in 2017 and processed via SmartPLS®3. Through the Structural Equation Modeling technique, the conceptual model of the study was validated with 99% reliability ($p < 0,01$), showing with originality that the cooperation in R & D and the eco-innovations satisfactorily explained the socio-economic performance of the companies surveyed in 51.3%. Three hypotheses have proved that cooperation in R & D with technological partners positively influenced the introduction of product eco-innovations, process eco-innovations and organizational eco-innovations in the companies investigated. Two hypotheses have shown that product eco-innovations and organizational eco-innovations have positively influenced the companies' socioeconomic performance. An unproven hypothesis showed that process eco-innovation has not positively influenced the companies' socioeconomic performance. From the eco-innovation attributes, three have not been statistically validated: the simplification of packaging, the simplification of construction and the energy efficiency of developed products. Although the non-validated attributes demonstrate technological backwardness of the electrical and electronic products, there is a predominance of an environmentally sustainable technological route in companies, which is a visible competitive edge. The implications of this study are noteworthy from the emerging paradigms of the circular economy and of the green economy. If cooperation in R & D and eco-innovations have enabled satisfactory socioeconomic outcomes, in companies which are distinct users of minerals and electricity, then it falls down the paradigm of polluting innovation that ignores that natural resources are finite. It is clear that the Triple Bottom Line paradigm, which considers the balance between the environmental, social and economic dimensions, has a viable basis for the industry of the third millennium. Companies have the responsibility to anchor technological change at every link in their value chains, since the extraction of raw materials from nature up to the education of consumers for the conscious use and disposal of products. It is possible to suggest that not correcting the technological route based on the economic paradigm of excesses on the world's resources can be qualified as a harmful corporate responsibility to the Planet. In addition, polluter-based industries and value chains seem to be doomed to disappear. The results of this study are restricted to the sample of industries investigated in Brazil. Topics with potential for future research emerge in symbiosis and industrial biomimetics, eco-innovation systems in Smart Cities, social eco-innovation, marketing eco-innovation and eco-innovations in Industry 4.0.

Keywords: Cooperation. Socioeconomic performance. Eco-innovation. Holism. Research and development. Triple Bottom Line.

SUMÁRIO

1 PROBLEMA DE PESQUISA	9
1.1 Introdução	9
1.2 Definição da situação problema	10
1.3 Objetivos do estudo	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 A relação do homem com o Planeta	15
2.1.1 Desenvolvimento sustentável e economia verde	26
2.2 As ecoinovações	28
2.2.1 Os determinantes das ecoinovações	34
2.3 A cooperação em P&D	37
2.3.1 A cooperação em P&D e a introdução de ecoinovações	42
2.4 As ecoinovações e o desempenho socioeconômico de empresas	44
3 MÉTODO	49
3.1 Natureza do estudo	49
3.2 Modelo conceitual do estudo (MCE) e definição das variáveis	49
3.3 Procedimentos metodológicos	52
3.3.1 Método Quantitativo – <i>Survey</i>	53
3.3.2 Universo e amostra	53
3.3.3 Técnica de coleta dos dados	55
3.3.4 Técnica de tratamento e análise dos dados	58
3.4 Limitações metodológicas	62
4 RESULTADOS DA PESQUISA	63
4.1 Análise de frequência relativa	63
4.2 Análises univariadas de média e desvio padrão	65
4.3 Modelagem de Equações Estruturais (MEE)	68
4.3.1 Avaliação do modelo de mensuração	68
4.3.1.1 Carga fatorial	69
4.3.1.2 Confiabilidades da consistência interna e da validade convergente	70
4.3.1.3 Validade discriminante	71
4.3.2 Avaliação do modelo estrutural	71
4.3.2.1 Análise de multicolinearidade	72
4.3.2.2 Coeficientes de caminho do modelo estrutural	72

4.3.2.3 Coeficientes de determinação	74
4.3.2.4 Efeito f^2	75
4.3.2.5 Relevância preditiva Q^2	75
4.3.3 Verificação das hipóteses de pesquisa	76
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
6 CONCLUSÕES	89
6.1 Conclusões específicas	89
6.2 Conclusões gerais	91
6.3 Limitações e sugestões de estudos futuros	98
REFERÊNCIAS	101
APÊNDICES	109

1 PROBLEMA DE PESQUISA

1.1 Introdução

Ao longo do século XX as tecnologias poluidoras emissoras de gases de efeito estufa (GEE) e o uso pouco racional dos recursos naturais geraram significativo dano ambiental ao planeta Terra, contaminando o ar, a água e o solo, aumentando as mortes humanas por doenças respiratórias e ocasionando a perda das biodiversidades animal e vegetal. A reação dos sistemas naturais da Terra na busca de homeostase¹ tem resultado nas vivenciadas mudanças climáticas e em eventos extremos, a exemplo dos aumentos do nível do mar, das enchentes, do clima seco e quente, dos incêndios florestais, dos tornados e do degelo nas regiões polares (Lovelock, 1972; Beggs, 2004; Veiga, 2012, IPCC, 2014).

Graves fenômenos humanitários como os aumentos dos refugiados climáticos e da exclusão social e econômica são observados e cientificamente relacionados à pressão humana sobre os recursos planetários e ao consequente aquecimento global acelerado (Banco Mundial & Climate Works Foundation, 2014). Por óbvio, não há outra saída ao ser humano a não ser evitar os danos ambientais. Vive-se um tempo decisivo em que o custo da inação sobre a preservação ambiental superará em muito o custo das imediatas ações humanas no enfrentamento da poluição por resíduos e gases poluentes e no uso pouco racional dos recursos naturais. A reparação de tal dano deverá agora ser viabilizada pela adaptação tecnológica e pelo consumo consciente, revertendo a separação entre o homem e a vida natural que evidentemente não tem funcionado.

É necessário que até 2050 o Planeta consiga migrar para um novo paradigma econômico, da economia verde ou de baixo carbono, e até 2100 para a economia de carbono nulo ou quase nulo. Assim a Terra poderá recuperar a homeostase de sua temperatura (IPCC, 2014), perdida após o aumento das emissões antropogênicas de gases que seguiram a Revolução Industrial (Petit et al., 1999). A economia verde é um modelo econômico que resulta na melhoria do bem estar humano e na igualdade social, enquanto reduz significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica. Tem baixa emissão de dióxido de carbono, é eficiente no uso de recursos e é socialmente inclusiva (UNEP, 2010).

Para incentivar a economia verde as estratégias ambientais de mais de 170 países agora tentam seguir as diretrizes da COP21 (21ª Conferência das Partes da Convenção das

¹ Processo de regulação pelo qual um sistema alcança a constância de seu equilíbrio.

Nações Unidas sobre Mudança do Clima). O acordo governamental da COP21 tentará limitar até o final do século XXI o aumento das temperaturas globais a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Além do aumento do uso de (i) energia renovável, a economia verde também está relacionada (ii) aos processos industriais limpos e ao uso dos produtos, (iii) à agricultura, (iv) à gestão de resíduos e (v) ao uso da terra, mudança no uso da terra, e florestas (UNFCCC, 2015).

Forte regulação ambiental, educação e consciência sobre o consumo, mecanismos de financiamentos e subsídios públicos e adaptação tecnológica são os principais vetores de viabilização do movimento verde em todo o Planeta. Os setores da economia verde incluem (i) as energias renováveis, (ii) os transportes de baixo carbono, (iii) os edifícios energeticamente eficientes, (iv) as tecnologias limpas, (v) a melhoria da gestão de resíduos, (vi) a melhoria na oferta de água doce e (vii) a agricultura, a silvicultura e a pesca sustentáveis (UNEP, 2010).

O paradigma da economia verde tem gerado oportunidades para a competição baseada em inovações que atendam necessidades de consumo consciente e de conservação dos recursos planetários. No nível da indústria, sabe-se que o modelo econômico de extrair, transformar e descartar, da atualidade, depende de grande quantidade de recursos, além de energia não renovável. Esse modelo atingiu seus limites físicos e demanda a aplicação industrial de princípios do desenvolvimento sustentável. Empresas que queiram competir a partir de princípios do desenvolvimento sustentável precisam reorientar seus *drivers* de inovação tecnológica ambiental e modernizar seus parques produtivos, por meio da adoção de ecoinovações capazes de apoiar o uso racional de recursos, incluindo energia, e proteger o meio ambiental natural (McDonough & Braungart, 2003; Yuan, Bi, & Moriguchi, 2006; UNEP, 2010; Almeida, Agostinho, Huisinigh, & Giannetti, 2017).

1.2 Definição da situação problema

Ecoinovação é a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo de produção, serviço ou método de gestão que é novo para a organização e que resulta, ao longo do seu ciclo de vida, nas reduções do risco ambiental, da poluição e de outros impactos negativos no uso dos recursos (incluindo energia) - quando comparado a alternativas relevantes (Kemp & Pearson, 2007).

Sabe-se que um alto nível de complexidade técnica é inerente às ecoinovações que buscam impactar minimamente o meio ambiente. Diante de tal complexidade, notadamente

relacionada ao vetor mudança tecnológica, emergem evidências de que a cooperação em pesquisa e desenvolvimento (P&D) tem a capacidade de influenciar positivamente a introdução de ecoinovações em empresas. Por meio da cooperação em P&D, que é uma prática do paradigma da Inovação Aberta, empresas podem acessar conhecimentos externos e interdisciplinares, disponíveis ou passíveis de desenvolvimento cooperado com a rede tecnológica, como consumidores, fornecedores, concorrentes, universidades, institutos de ciência e tecnologia (ICTs), laboratórios tecnológicos, dentre outros (Hemmelskamp, 1999; Kemp & Pearson, 2007; Horbach, 2008; De Marchi, 2012; Cainelli & Mazzanti, 2013; De Giorgi, Dal Palù, & Alione, 2015; Souto & Rodriguez, 2015).

Como resultado da (i) cooperação em P&D e da (ii) introdução de ecoinovações, empresas têm observado a melhoria do (iii) desempenho econômico (Im & Workman, 2004; Pujari, 2006; Cheng & Shiu, 2012; Lee & Min, 2015; Brasil, Abreu, Filho, & Leocádio, 2016). O estudo das variáveis em si, bem como a relação entre essas três variáveis apresenta lacunas teóricas das quais emerge o problema de pesquisa do presente estudo e a respectiva oportunidade de investigação, conforme descrição sequente.

Primeiro, observa-se a oportunidade de investigar a influência da (i) cooperação em P&D sobre a (ii) introdução de ecoinovações, pois a literatura sugere que sejam pesquisadas as etapas *a priori* da introdução de ecoinovações, ou seja, os seus determinantes. Determinantes tecnológicos (*technology push*), mercadológicos (*market pull*) e regulatórios têm sido investigados, contudo, o estudo da influência da cooperação em P&D sobre a introdução de ecoinovações é pouco ou nada verificada, ainda (Kemp & Pearson, 2007; Horbach, 2008; Horbach, Rammer, & Rennings, 2012; De Marchi, 2012).

Segundo, a literatura demonstra a importância do estudo das relações *a posteriori* da introdução de ecoinovações a fim de verificar a efetividade das mesmas nos resultados das empresas. A melhoria do (iii) desempenho econômico a partir da introdução de ecoinovações tem emergido como uma variável pouco pesquisada pela literatura (Im & Workman, 2004; Pujari, 2006; Cheng & Shiu, 2012; Lee & Min, 2015; Brasil et al., 2016), portanto, foi definida como variável dependente deste estudo. Contudo, sabe-se que a mensuração do desempenho empresarial baseado unicamente no âmbito econômico é limitante. Muito além dos resultados econômicos, que culminam no lucro, empresas precisam construir relações sociais sustentáveis com seus entornos e com a sociedade em geral (Hourneaux, Hrdlicka, Gomes, & Kruglianskas, 2014; GRI, 2013; Martens, Kniess, Martens, & Carvalho, 2016). Essa é a lógica do conhecido paradigma *Triple Bottom Line*, que define que os âmbitos econômico e ambiental são duas das três bases do tripé sustentador da relação das empresas

com o Planeta, juntamente com a base social (Elkington, 2001). A pesquisa do desempenho social a partir da introdução de ecoinovações é uma relação não verificada na literatura. Por essa razão, o desempenho social foi definido como variável dependente deste estudo, juntamente com o desempenho econômico. Note-se que, por ser a ligação entre seus determinantes (*a priori*) e resultados (*a posteriori*), ecoinovação foi naturalmente definida como variável mediadora do modelo de estudo.

Terceiro, estudos precedentes se ocuparam da investigação das ecoinovações em geral. Sabe-se, entretanto, que ecoinovações podem ser dos tipos tecnológica (de processo e de produto), organizacional, de marketing, social e de sistemas. Dessa forma, surge a oportunidade de isolar a investigação da influência da cooperação em P&D sobre as ecoinovações organizacionais e tecnológicas, sendo estas últimas, de processo e de produto (Fronzel, Horbach, & Rennings, 2003; EIO, 2013).

Quarto, estudos precedentes investigaram ecoinovação a partir de indicadores dicotômicos de introdução do produto no mercado (introduziu ou não) (De Marchi, 2012). Já se sabe que a introdução do produto no mercado é um indicador tradicional e razoável para a mensuração da capacidade de inovação de uma empresa. Contudo, ecoinovações possuem características associadas ao ciclo de vida do produto (CVP), de reduzir, reutilizar e reciclar. Tais características vão além das responsabilidades da empresa até a introdução do produto no mercado e também devem considerar o impacto da tecnologia após o uso e descarte pelo consumidor. Limitar a investigação ao estudo da simples introdução do produto no mercado apenas permite captar parte dos benefícios ambientais do produto, especificamente do processo produtivo precedente. Assim, emerge a oportunidade de investigar a ecoinovação sob uma perspectiva holística, a partir de indicadores capazes de mensurar os benefícios ambientais pós-introdução do produto no mercado.

Quinto, emerge a oportunidade de investigar a cooperação em P&D a partir da perspectiva teórica de gestão estratégica (Hagedoorn, Link, & Vonortas, 2000) com diferentes parceiros tecnológicos (Tigre, 2014). Para tanto, define-se para este estudo o conceito de cooperação em P&D ao invés de colaboração em P&D, uma vez que cooperação ocorre quando parceiros tecnológicos formam vínculos e realizam parcerias para o alcance de objetivos comuns (Piaget, 1973). A colaboração, por sua vez, é uma limitação conceitual de estudos precedentes que utilizam esse termo, não sugere a formação de vínculos entre as empresas e representa contribuições individuais para o alcance de objetivos isolados. Complementarmente, estudos sugerem que a cooperação em P&D é melhor observada em setores dotados de maior uso de conhecimentos técnico e científico, o que indica a

oportunidade de investigar a realidade dos fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos, definidos como o universo de pesquisa deste estudo.

Diante do exposto se justificam os esforços deste estudo em responder a seguinte questão: *Em que medida a cooperação em P&D, mediada pela introdução de ecoinovações, influencia o desempenho socioeconômico de empresas?* Para responder a pergunta, dois objetivos foram propostos.

1.3 Objetivos do estudo

Os objetivos do estudo são:

- (i) Verificar a influência da cooperação em P&D sobre a introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais.
- (ii) Verificar a influência da introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais sobre o desempenho socioeconômico de empresas.

Apresentado o problema de pesquisa com a respectiva situação problema e objetivos, é possível avançar para a fundamentação teórica do estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica é iniciada com a descrição da relação ancestral do homem com o Planeta a partir das mitologias de Pachamama e de Gaia. A descrição do mito evolui para a fundamentação filosófica do estudo e, em seguida, para as ciências contemporâneas, abordando o avanço tecnológico ambiental, da relação da tecnologia com o todo planetário. Em seguida são fundamentadas as variáveis pesquisadas no estudo, da cooperação em P&D, das ecoinovações e do desempenho socioeconômico de empresas. Por fim são apresentadas as relações hipotetizadas entre as variáveis do estudo.

2.1 A relação do homem com o Planeta

Yo soy la noche, la mañana; Yo soy el fuego, fuego en la oscuridad; Soy Pachamama, soy tu verdade; Yo soy el canto, viento de la libertad; Yo soy el cielo, la inmensidad; Yo soy la tierra, madre de la eternidade; Soy Pachamama, soy tu verdad; Yo soy el canto, viento de la libertad. (Barrientos & Montes, 1998)

Barrientos e Montes (1998) sintetizam a cosmovisão Inca acerca da vida na Terra: é a mitologia de Pachamama. Com origem estimada no século XII, Pachamama, do Quíchua *Pacha*, significa universo, mundo, tempo, lugar, e *Mama* significa mãe. É a Mãe Terra, considerada a energia germinadora e defensora da vida natural, da qual se origina o mundo material, o sustento das diferentes formas de vida e a realidade (Paredes, 1920; Marzal, 1995). Simbolicamente, Pachamama é representada por ilustrações do feminino unindo o homem e os sistemas naturais (Figuras 1a e 1b).

Figuras 1a e 1b – Ilustrações de Pachamama

Fonte: 1a: Mito + Graphos (2011); 1b: Nacla Report on the Americas (2012)

Sim bem primeiro nasceu Caos, depois também Gaia de amplo seio; De todos sede irresvalável sempre; Dos imortais que têm a cabeça do Olimpo nevado; E Tártaro nevoento no fundo do chão

de amplas vias; E Eros: o mais belo entre Deuses imortais; Solta-membros, dos Deuses todos e dos homens todos; Ele doma no peito o espírito e a prudente vontade. (Torrano, 1995, p. 87)

Já na cosmogonia grega narrada por Hesíodo, entre os anos 701-601 a.C. (Torrano, 1995, p. 87), nasce outro mito representando a Terra e seu poder gerador de vida, é a deidade Gaia, também simbolicamente representada pelo feminino gerador da vida (Figuras 2a e 2b).

Figuras 2a e 2b – Ilustrações de Gaia

Fonte: 2a: Wikimedia Commons (2010); 2b: Josephine Wall Gallery (2017)

Tanto nas mitologias Inca quanto Grega o simbolismo da Terra possui em comum a unicidade maternal. O simbolismo materno de Pachamama e de Gaia tem suportado os sistemas de crenças de seus respectivos povos e considera que o homem e os demais sistemas naturais da Terra devem coexistir e coevoluir.

Contudo, em algum descuidado momento do tempo pretérito, o mito foi injustamente tomado como algo que é uma não verdade e tem sido confundido com o sobrenatural e com o irracional. Tem sido reduzido a entidades físicas e metafísicas, ao folclore e a fábulas. O equívoco parece ter nascido da limitada capacidade de interpretação do mito enquanto uma figura de linguagem, um arquétipo, capaz de aconselhar o homem a como se relacionar com as forças da natureza (Eliade, 1957). Não pode ser tomado ao pé da letra, demanda sentimento e profunda capacidade de abstração, uma aventura impossível de ser vivida na prisão do positivismo. Por isso o positivismo é avesso ao mito e, por não compreendê-lo, nega-o. Compreender o mito não é um apanágio comum.

O mito não descarta o uso do filtro da razão para sua compreensão, pelo contrário, sugere interpretação segundo a expansão de cada consciência. É mais relativo do que absoluto. Serve de inspiração para o homem perseverar em algo que vem dando certo (Eliade, 1957), a exemplo do mito de Pachamama, que estimula a preservação da Mãe Terra acima de qualquer capricho do ego humano, pois tudo na Terra é uno, logo o homem pertence à Mãe Terra (Marzal, 1995).

O mito transcende a religião e precede a filosofia. Tanto o mito quanto a filosofia se esforçam em explicar a origem do homem. A cosmovisão do mito, de que a Terra é um todo com sistemas interagentes, pode ser relacionada à filosofia primeira de Aristóteles (384-322 a.C.). Aristóteles (1999) se ocupou do estudo da totalidade dos fenômenos e afirmou que as partes estão relacionadas com o todo e também relacionadas entre si dentro de um todo. Afirmou, ainda, que o todo é maior do que a simples soma das partes. Os pressupostos de Aristóteles mais tarde receberam contribuições de Hegel (2005), que complementou que a verdade somente existe no todo.

A partir da filosofia primeira firmou-se uma linha do pensamento complexo que indaga sobre a relação do todo com as partes. Essa linha filosófica é oposta ao pensamento reducionista e cartesiano de Descartes (2009), o qual em seu Discurso do Método ignorou a relação das partes com o todo e a integração entre objeto e observador. Tal pensamento também é oposto à filosofia atomística, em que os elementos devem sempre ser reduzidos à forma mais simples para a compreensão, sem necessariamente se considerar a relação da forma reduzida com o todo do qual é parte constituinte.

É na filosofia da ciência pós-moderna, baseada no pensamento complexo que este estudo se assenta. Salvo interpretações discordantes, a filosofia da ciência pós-moderna vai além do estudo isolado das partes, ao considerar que as partes se comportam de acordo com sua interação complexa com o todo (Morin, 2000, 2003). Admite-se a partir do pensamento complexo que o conhecimento não é uma primazia exclusiva da ciência, também pode ser socialmente construído a partir da filosofia, da religião (do *religare* com algo além do próprio ego, não se tratando de instituições religiosas) e do mito. Vai muito além, portanto, do neopositivismo de Popper (1980) e do estruturalismo científico de Kuhn (2000).

Mas como compreender que a Ciência e que o Homem não são o centro do universo? Uma das respostas pode ser obtida por meio da Teoria do Holismo. O Holismo é originado do termo grego *Holos*, que significa “inteiro” ou “todo”. Da noção de *Holos*, foi cunhada por Smuts (1926) a Teoria do Holismo, baseada no axioma de que a realidade é formada por totalidades físicas, biológicas e psíquicas distintas que também pertencem a outras totalidades. Contribuições de Marins (2015) sistematizam a teoria a partir de nove princípios (Tabela 1).

Tabela 1 - Princípios da teoria Holística

Princípio	Nome	Descrição básica
P1	Princípio da estrutura holística	A realidade é formada por totalidades físicas, biológicas e psíquicas, numa estrutura tal, que uma totalidade qualquer possui partes que são, por si, totalidades distintas, bem como

		também é parte de outras totalidades que a englobam
P2	Princípio da conexão universal	Todas as totalidades existentes se conectam de alguma forma, direta ou indiretamente
P3	Princípio da diferenciação entre propriedades das partes e propriedades das totalidades	As propriedades de uma totalidade são diferentes da simples agregação das propriedades das partes
P4	Princípio da retroação da totalidade na parte	A parte, enquanto pertencente a uma totalidade, pode apresentar propriedades diferentes das que apresenta em isolamento
P5	Princípio do histórico holístico	Uma totalidade possui um histórico, um registro temporal da sua evolução junto a outras totalidades
P6	Princípio do conjunto de perspectivas futuras	Uma totalidade possui perspectivas de evolução determinadas pelas possibilidades de entrelaçamento com outras totalidades
P7	Princípio antrópico de direcionamento do futuro	Em totalidades nas quais o elemento antrópico é considerado, a possibilidade de direcionamento do futuro é propriedade desta totalidade
P8	Princípio de apreensão da realidade holística	A realidade holística, para ser apreendida completamente, necessita da propriedade cognitiva da onisciência
P9	Princípio da apreensão suficiente da realidade holística	Uma aproximação para apreensão da realidade holística é suficiente quando a integração dos recortes dessa realidade permite atingir objetivos cognitivos específicos

Fonte: Smuts (1926), adaptado de Marins (2015)

Paralelamente ao Holismo, mais recentemente, Bertalanffy (1969) fundamentou a Teoria Geral dos Sistemas, ou Sistemismo, ou Pensamento Sistêmico. Para Bertalanffy (1969) existem partes em interações denominadas sistemas. O estudo da interação das partes forma uma totalidade que, por sua vez, é passível de exploração científica.

Tanto o Holismo quanto o Sistemismo se esforçam para sustentar o paradigma de que as partes se relacionam com o todo. Nenhum nega a necessidade de se estudar as partes. Apenas instituem que a relação das partes e a formação do todo devem superar a isolada observação das partes. Há um ponto em que as filosofias holísticas e reducionistas se encontram e culminam em teorias científicas. Uma linha com crescente aceitação científica nasce das contribuições de Lorenz (1996) para a teoria do Caos e da Complexidade. Lorenz desenvolveu modelos computacionais e descobriu que mínimas mudanças iniciais no padrão climático poderiam produzir efeitos caóticos imprevisíveis sobre o clima da Terra, especialmente a longo prazo. Denominou tal fenômeno de “Efeito Borboleta”, em que o resultado final da interação das partes é imprevisível. Contudo, tal fenômeno conserva uma certa faixa de ordem, a que o matemático Mandelbrot (1983) mais tarde denominou Fractais.

Fractais - do latim *fractus*, fração, quebrado - são figuras da geometria não-Euclidiana. A geometria fractal é originariamente um ramo das ciências lógicas que considera que o todo é o resultado da interação complexa das partes. As partes, por sua vez, são autossimilares e conservam as características do todo.

O mito de Pachamama e de Gaia e as filosofias até o momento apresentadas são a base para o principal axioma do presente estudo: “a Terra é um supersistema com partes interagentes entre si que influenciam o todo planetário”. A denominação de partes se refere a qualquer sistema físico, químico, biológico, social, econômico, tecnológico ou mental. Tal premissa, mais à frente, permitirá abordar a relação da tecnologia com o todo planetário.

No sentido acima exposto e abstraindo princípios teóricos similares aos do caos e da complexidade, Lovelock (1972) propôs que a biosfera e os componentes físicos da Terra (atmosfera, criosfera, hidrosfera e litosfera) são um sistema complexo intimamente integrado que se autorregula para manter as condições climáticas e biogeoquímicas em homeostase, ou seja, favoráveis à vida na Terra. É a Teoria de Gaia. Ficou relativamente fácil compreender a Teoria de Gaia uma vez que foi postulada após a ida do homem à Lua. Quando o homem observou a Terra a partir da Lua pela primeira vez (Figura 3), ficou evidente que a Terra é um único superorganismo. Começava a ruir a ilusão da separação e a crença que limitava a ação e a preocupação do homem à sua localidade geográfica, sem a preocupação com o todo planetário.

Figura 3 - Terra vista da órbita lunar em 1969

Fonte: NASA History Office (2007)

Há um receio científico de se associar a concepção de Gaia enquanto superorganismo autorregulador à existência e intervenção de um deus. Ora, se o fenômeno autorregulação é ou não Deus, isso é apenas uma questão semântica que não elimina a existência do fenômeno em si. Prova disso são as contribuições científicas de Veiga (2012), ao descrever que o Mito e a Teoria de Gaia de fato viraram Ciência.

O fenômeno invisível desafia a ciência por apresentar caráter de difícil medição. Entretanto, o fato de não haver a abstração, a coragem, o instrumento e o método de medição, não elimina a existência do fenômeno em si. Há uma tendência humana de se associar o

invisível a fenômenos metafísicos, daí a crença que limita o avanço da ciência. Com a descoberta, pela física, da gravidade e dos campos energéticos formados a partir de partículas e subpartículas atômicas, a ciência vem paulatinamente admitindo a existência de forças não visíveis sobre a Terra e entre os sistemas da Terra. Pelo efeito tem sido possível conhecer a causa de fenômenos até então considerados metafísicos e alheios ao estudo científico. A emancipação das teorias biocentristas, aquelas que têm a vida como centro do universo, sobre as teorias antropocentristas, permitiu que o homem avançasse para um novo paradigma: do entendimento neohumanista sobre a conexão entre as diversas formas de vida e elementos (Sarkar, 1987). Essa conexão pode ser chamada de *Teia da Vida*, em que o homem é apenas uma das peças do “quebra-cabeça” cósmico, conforme explica Capra (1996):

A teia da vida consiste em redes dentro de redes. Em cada escala, sob estreito e minucioso exame, os nodos da rede se revelam como redes menores. Tendemos a arranjar esses sistemas, todos eles aninhados dentro de sistemas maiores, num sistema hierárquico colocando os maiores acima dos menores, à maneira de uma pirâmide. Mas isso é uma projeção humana. Na natureza, não há “acima” ou “abaixo”, e não há hierarquias. Há somente redes aninhadas dentro de outras redes. (p. 45)

Para efeito de ilustração sobre a limitação das teorias antropocentristas, se o tempo cósmico de 13,8 bilhões de anos fosse dividido em 12 meses, o *Homo Animalis* teria nascido em Gaia nos últimos 15 minutos do dia 31 de dezembro, e toda a história do *Homo Sapiens* teria se passado nos últimos 60 segundos (Benyus, 2011). Significa dizer que o *Homo Sapiens* é, embora racional, uma espécie posterior e mais nova. Dito de outro modo, quando o Homem chegou, a estrutura biogeoquímica de suporte à vida estava pronta. Portanto, parece óbvio que não é direito da espécie humana a destruição do ambiente planetário em que vivemos. Assim, sabendo-se que Gaia sobrevive sem o Homem é possível inferir que o homem quase nada é no sistema planetário Gaia. Ademais, Gaia é quase nada no sistema Via Láctea; esta por sua vez é quase nada na universalidade das nebulosas e essa própria universalidade é bem pouca coisa dentro do imensurável infinito; nessa ilustração começa-se a compreender o que é o Homem no globo terrestre.

A premissa de que a Terra é um superorganismo (Lovelock, 1972) implica dizer que uma tecnologia que não considere o todo planetário e que não permite a continuidade da vida, não se justifica, é uma tecnologia limitante e vazia e pautada em um paradigma vencido. É sob essa verdade que a ciência atual deve ser alicerçada. Uma ciência que não considera a relação das partes com o todo planetário não parece ter razão alguma em ser concebida, pois, pela premissa básica do método, não possui problema de pesquisa com futuro.

No âmbito dos negócios, a desassociação das ciências da Administração e da Economia com conceitos expandidos das ciências da vida fez com que a eficiência e o lucro fossem os paradigmas dominantes desde a Revolução Industrial, especialmente considerando a limitada visão de empresa difundida por Friedman (1970) e seus seguidores. A ciência não é isenta de falhas, muito pelo contrário, recentes são os exemplos do uso bélico da ciência, especialmente na física e na química, que culminaram na morte humana em massa. A falha reside no mau uso e não na ciência em si. Todavia, o homem é um ser que se supera constantemente e sua engenhosidade é compatível aos problemas autogerados. O alvorecer científico está agora dotado de integração complexa entre diversos tipos de conhecimento. O avanço científico vai sendo consolidado aos poucos e as contribuições individuais vão tomando corpo a partir do conjunto de contribuições coletivas de cada época. Está sendo a ciência a responsável por desferir profundo golpe nas crenças seculares de que a exploração dos recursos planetários não vem acompanhada de responsabilidades.

O Homem é também um animal e está sob o jugo das leis ecológicas. Uma dessas leis diz que uma espécie não pode ocupar um nicho que se aproprie de todos os recursos naturais, é preciso que haja alguma divisão. Uma espécie que ignore essa lei para promover a sua expansão acaba destruindo sua comunidade (Benyus, 2011).

A relação entre homem e natureza é um princípio natural de coexistência. Desde os primeiros tempos a natureza é o principal fornecedor de recursos naturais ao homem. A humanidade é fruto desse relacionamento com a natureza. O homem e suas formas de organização econômica (empresas) somente existem por evolução e “bondade” natural. Dissociar a empresa da natureza é sustentar um modelo vencido, de que a empresa deve existir unicamente para fins econômicos e financeiros. Sabe-se que resultado econômico-financeiro é apenas uma das funções da empresa, juntamente com as funções social e ambiental (Elkington, 2001; Marcovitch, 2011). Emergiu no século XXI um novo cenário em que a sustentabilidade ambiental se tornou indissociável do crescimento econômico, trata-se do moderno ambientalismo, a partir do qual o Brasil e seus biomas assumem uma referência norteadora para o mundo (Marcovitch, 2011).

Levando em conta a função ambiental e segundo a Teoria de Gaia, o homem é uma parte interagente e modificadora do todo planetário Terra. A teoria propõe que a ação antrópica causa a reação do Planeta em uma lógica de autorregulação. Emissão de gases e uso de tecnologias poluentes, desmatamento, superpopulação, consumo não consciente e a exploração não sustentável dos recursos naturais podem ser, portanto, associados a diversas reações de adaptação biogeoquímica da Terra, como: (i) aumento do nível do mar em 17cm

no último século; (ii) aumento da temperatura global em relação aos níveis de 1880; (iii) aquecimento dos oceanos; (iv) derretimento das calotas polares; (v) declínio do gelo do Ártico; (vi) recuo das geleiras glaciais; (vii) eventos extremos; (viii) acidificação do oceano; (ix) diminuição da cobertura de neve (Lovelock, 1972; Veiga, 2012, IPCC, 2014). Efeitos paralelos são notadamente observados, como a vulnerabilidade social e econômica, a pobreza extrema, além do crescente número dos chamados refugiados climáticos (Banco Mundial & Climate Works Foundation, 2014). Não há precedentes de tais fenômenos na história de Gaia.

Sabe-se hoje que a relação do homem com o todo planetário esteve em razoável equilíbrio até o ponto em que a exploração dos recursos naturais era sustentável, ou seja, permitia a recomposição dos sistemas naturais. Os níveis de Dióxido de Carbono (CO_2) atmosférico permaneceram estáveis por milênios e não causavam o aquecimento anormal do Planeta. Contudo, comparações com amostras atmosféricas contidas em núcleos de gelo formados há quatrocentos mil anos, e medições diretas mais recentes, apresentam evidências de que a temperatura global vem aumentando segundo o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio de tecnologias diversas. Note-se que os níveis de CO_2 atmosférico seguem por milênios uma concentração máxima de 300 partículas por milhão (ppm). Imediatamente após a Revolução Industrial tais níveis superaram a média histórica e não pararam de aumentar até o tempo presente, o que gera suficientes indícios de que a ação antrópica está influenciando o clima do Planeta (Figura 4) (Petit et al., 1999).

Figura 4 - Aumento do CO_2 atmosférico desde a Revolução Industrial

Fonte: NASA Global Climate Change (2017)

As primeiras contribuições sobre os efeitos do Dióxido de Carbono na variação climática da Terra foram realizadas por Arrhenius (1896), que inferiu que o dobro da quantidade de CO_2 na atmosfera poderia derreter o gelo Ártico. Mudanças na ionização da alta atmosfera foram confirmadas por Hulburt (1930) por meio de cálculos longitudinais. Na

mesma década, Callendar (1938) demonstrou que tanto as emissões de CO₂ quanto a temperatura média global estavam efetivamente aumentando. Técnicas de medição da concentração de carbono na atmosfera foram aprimoradas e mensuradas por Keeling (1958) a partir de 200 estações meteorológicas e de estudos com o CO₂ armazenado no gelo profundo da Groelândia e da Antártica. Nessa época, efeitos nocivos do excesso de carbono na atmosfera já eram demonstrados por Sagan (1980) em estudos sobre a atmosfera de Vênus e de Marte.

As contribuições acima descritas estimularam uma força tarefa de pesquisa mundial em mudanças climáticas. Em 1988 a Organização das Nações Unidas (ONU) e a World Meteorological Organization (WMO) formaram o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), atualmente composto por mais de três mil cientistas, de 195 países, que realizam pesquisas na área climática. As pesquisas do IPCC têm sido fundamentais para comprovar o fenômeno do aquecimento global e estabelecer o paradigma dominante que orienta o presente estudo, de que 97,2% da comunidade científica internacional reconhece o aquecimento global antropogênico (Cook et al., 2013). Ao queimar petróleo, carvão e gás, a civilização está emitindo CO₂ muito mais rápido do que o Planeta pode absorver. Níveis excessivos de CO₂ estão se acumulando na atmosfera e o Planeta está aquecendo. Isso é o efeito estufa.

Note-se que o carbono já havia sido armazenado sob as camadas da Terra por meio de processo geológico natural ao longo de milênios. Esse processo culminou na estabilização do clima e na criação das condições para o florescer da vida na Terra. Sem nada de CO₂ a Terra estaria congelada, logo, um nível moderado de CO₂ é fundamental para a vida, contudo, o excesso do gás pode desestabilizar o clima e destruir o modo de vida do Planeta. De toda forma, ao ignorar os indícios científicos que sugeriam o não uso dos recursos fósseis, a atividade industrial energética mundial literalmente trouxe novamente o dióxido de carbono à tona para a superfície da Terra. Por ironia, hoje o homem busca formas de fazer o processo inverso, ou seja, armazenar novamente o CO₂ nas estruturas geológicas da Terra, um processo caro e com alto risco técnico de poluição dos lençóis freáticos (Figuerola, Fout, Plasynski, McIlvried, & Srivastava, 2008).

É evidente o aumento na emissão de gases pela ação antropogênica, o que desestimula teorias de que o aquecimento global acelerado é uma resposta ao atual fim de uma era geológica. Sabe-se que o clima já mudou diversas vezes no Planeta, mas sempre em resposta a forças globais naturais que alteram o equilíbrio energético da Terra e influenciam as eras glaciais (Petit et al., 1999). Também são desestimuladas teorias que sugerem que o Sol é

culpado pelo aquecimento global. A monitoração científica do Sol indica que a energia solar emitida não mudou nas últimas décadas, embora o Sol esteja emitindo 10% a mais de luminosidade a cada bilhão de anos (ou 1% a cada 110 milhões de anos) (Schroder & Smith, 2008). Ademais, a Terra está se aquecendo mais à noite do que durante o dia e mais no inverno do que no verão. Desde o último século a força mais intensamente observada é a queima de combustíveis fósseis, que está “prendendo” mais calor do Sol. Parte do excesso de CO₂ emitido fica no ar, parte é absorvida pelos oceanos.

Mesmo que o aquecimento do Planeta fosse de fato uma resposta natural ao fim de uma era glacial ou decorrente das emissões naturais, a partir de matéria orgânica morta e mudanças naturais dos solos, é inegável que o homem está interferindo e acelerando esse processo “supostamente natural”. Tem sido possível precisar cientificamente um aumento inédito no nível geral de CO₂ atmosférico em relação aos níveis pré-industriais, que agora está mais de 40% superior ao nível anterior à Revolução Industrial (IPCC, 2014).

Note-se, contudo, que a Revolução Industrial e a consequente emissão massiva de gases nada mais são do que uma resposta ao também massivo aumento populacional vivido no último século. Alimentos e demais recursos para sobrevivência humana passaram a ser demandados em grande escala industrial. Escala industrial no sentido amplo de cadeia produtiva, por sua vez, tem alta demanda de energia. Assim, dada a matriz energética fóssil utilizada massivamente no último século, estima-se que mais de 400 bilhões de toneladas de CO₂ foram emitidas pela ação antrópica a partir de uma relação pouco sustentável com o Planeta. Em resumo, o consumo de energia é a causa primária do aquecimento global. Em dados gerais as emissões chegaram a 49 Gt CO₂-eq (giga toneladas de CO₂ equivalente) no ano de 2010 (IPCC, 2014) (Figura 5).

Note-se, segundo a Figura 5, que a indústria possui direta e indiretamente um peso decisivo nas emissões globais de GEE. Na produção de eletricidade e de calor (25%), as emissões de GEE são originadas da produção de energia. Na agricultura, floresta e outros usos da terra (AFOLU) (24%), as emissões são provenientes da agropecuária e do desmatamento, que também envolve a indústria. Na indústria (21%), as emissões envolvem principalmente a queima local de combustíveis fósseis e instalações para geração de energia. Esse setor também inclui emissões da química, da metalurgia e de processos de transformação mineral não associados com o consumo de energia e atividades de gestão de resíduos. No transporte (14%), 95% das emissões são provenientes da queima de combustíveis fósseis dos transportes rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo. Nos edifícios (6%), as emissões são provenientes da geração de energia no local, queima de combustíveis para aquecimento de edifícios e queima

de combustíveis para uso doméstico. Nas outras energias (9,6%), as emissões referem-se a todas as emissões do setor de energia que não estão diretamente associadas com a eletricidade ou aquecimento, tais como a extração, refino, processamento e transporte de combustíveis (IPCC, 2014).

Figura 5 – Emissão de GEE por setor econômico

Fonte: IPCC (2014)

Convencidos da realidade acerca das atividades emissoras de GEE, os países signatários da ONU, depois de mais de duas décadas de discussão, decidiram fixar em 2015, por meio da Conferência das Partes (COP) 21, metas de emissão de gases em uma tentativa de não permitir que a temperatura global aumente mais do que 1,5°C até o final do século XXI. Para a execução das metas foram definidas intenções nacionais, os chamados Intended Nationally Determined Contribution (INDC). Os INDCs representam o que de melhor os países conseguiram politicamente fazer até o momento frente às mudanças climáticas. Embora muitos esforços estejam sabidamente aquém daqueles que os países realmente poderiam fazer, percebe-se um avanço das intenções ao longo das últimas rodadas de negociação internacionais. De maneira geral, os países signatários do acordo pretendem migrar para uma economia de baixo carbono até 2050. De 2050 a 2100 a intenção é zerar as emissões de gases de efeito estufa. Especificamente, o Brasil pretende reduzir 37% das emissões de GEE até 2025, reduzir a zero o desmatamento ilegal, além de restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030 (UNFCCC, 2015). O cumprimento das metas de

baixo carbono dos países está diretamente vinculado à realidade global da superpopulação planetária e ao aumento do uso de recursos naturais.

A indústria do alto carbono permitiu que o homem suprisse as necessidades advindas da explosão demográfica vivenciada no século XX. Analisando a origem é possível concluir que o aquecimento global também é resultado do crescimento populacional de mais de cinco bilhões de pessoas no século XX. O fato observado é que o Planeta não estava preparado para a explosão demográfica vivida desde o século passado e a rápida transição da população rural para as zonas urbanas. Em 2007, pela primeira vez na história humana, a população urbana ultrapassou a rural (Figura 6). Por isso, no centro do debate sobre poluição e aquecimento global encontram-se as cidades. Desde 2014 as cidades aglomeram mais de 50% da população mundial. Em 2050 estima-se que 70% da população mundial viverá nas cidades. No Brasil, espera-se que o crescimento entre em equilíbrio no ano de 2040, e no mundo, estima-se que o equilíbrio populacional aconteça no final deste século, entre 2080 e 2100, quando o Planeta poderá ter em torno de 10 bilhões de habitantes (UNPD, 2014).

Figura 6 - Populações urbana e rural do mundo, 1950-2050

Fonte: UNPD (2014)

Diante do exposto, só há um caminho a ser adotado, o desenvolvimento sustentável e a chamada economia verde.

2.1.1 Desenvolvimento sustentável e economia verde

As tecnologias poluidoras e ineficientes no uso de recursos parecem estar fracassando na manutenção da vida no Planeta. O aumento do número de mortes por doenças respiratórias (Beggs, 2004), mudanças climáticas e efeitos em cadeia em todo o Planeta são a comprovação científica de tal fracasso (IPCC, 2014). Contudo, o uso pouco racional de recursos já não se justifica. Passou-se um século poluindo o Planeta, agora é necessário mais um século para

despoluí-lo. No próprio ruir do paradigma tecnológico poluidor está a indicação da fronteira tecnológica que deve ser alcançada pelas indústrias: o desenvolvimento sustentável, notadamente considerando-se a implementação de ecoinovações (tecnologias ambientais) (Almeida et al., 2017).

O modelo econômico de extrair, transformar e descartar da atualidade depende de grandes quantidades de recursos, além de energia não renovável. Esse modelo atingiu seus limites físicos e demanda a emergência da Economia Circular, uma nova forma de enfrentamento dos problemas do homem. Por premissa, uma Economia Circular é regenerativa e restaurativa. Tem o objetivo de manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor, o tempo todo. Vale ressaltar que no ciclo de vida do produto (CVP) há uma relação entre os ciclos técnicos (empresa) e biológicos (natureza) (McDonough & Braungart, 2003; Yuan, Bi, & Moriguchi, 2006).

A baixa emissão de carbono e o controle de resíduos é um ciclo que somente se encerra no correto descarte do produto. A maturidade das empresas de cada cadeia de valor é fundamental nesse caso. Parece irreal pensar que a nulidade na emissão de carbono e de outros gases poluentes, bem como o controle de resíduos, possa existir sem que as empresas assumam sua responsabilidade sob todas as etapas do CVP. A empresa âncora, aquela que primeiro justifica a existência de uma cadeia de valor em nível de produção e de consumo, deve ser a primeira a assumir a responsabilidade sobre baixar ou anular a emissão de gases poluentes e controlar o uso de recursos naturais. Após alcançar tal patamar, a empresa âncora deve replicar seu modelo sustentável desde a sua primeira fornecedora até o seu cliente. Por exemplo, enquanto não houver empresas especializadas no manejo da reciclagem de materiais, a empresa produtora deveria ser a responsável pela logística reversa de recolhimento e reciclagem do produto descartado após o uso. Note-se pela complexidade desse ciclo o quanto o sistema produtivo mundial ainda precisa avançar rumo à economia circular. De toda forma, é certo que o valor verde do produto demandado pelo cliente está forçando uma adaptação dos modelos de negócios no nível da redução, do reuso e da reciclagem (McDonough & Braungart, 2003; Yuan et al., 2006; Bocken, Short, Rana, & Evans, 2014; Almeida et al., 2017).

Empresas que queiram se adaptar ao uso das ecoinovações precisam reorientar seus *drivers* de inovação tecnológica e, além da economia circular, também responder ao paradigma da economia verde, a base da sexta onda de inovação atualmente vivida (Figura 7), na qual a sustentabilidade é o modelo dominante. A Economia Verde é um modelo econômico que resulta na melhoria do bem estar humano e na igualdade social, enquanto reduz

significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica. Tem baixa emissão de carbono, é eficiente no uso de recursos e é socialmente inclusiva (UNEP, 2010).

Figura 7 - Ondas de Inovação

Fonte: The Natural Edge Project (2004)

Os setores da economia verde incluem (i) as energias renováveis, (ii) os transportes de baixo carbono, (iii) os edifícios energeticamente eficientes, (iv) as tecnologias limpas, (v) a melhoria da gestão de resíduos, (vi) a melhoria na oferta de água doce, (vii) a agricultura, a silvicultura e a pesca sustentáveis. Os investimentos nos setores da economia verde são orientados e apoiados pelo desenvolvimento e reforma de políticas nacionais e pela infraestrutura de mercado internacional (UNEP, 2010). Uma economia verde é uma mudança de paradigma que obedece a lógica da produção mais limpa (não poluidora) e do uso racional dos recursos do Planeta. A economia verde está sendo determinante para a origem de um novo paradigma tecnoeconômico, das ecoinovações.

2.2 As ecoinovações

Este tópico é iniciado com a definição do conceito de inovação e de ecoinovação. A evolução do conceito e os tipos de ecoinovação são os tópicos seguintes.

Inovação é a introdução de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas (OECD, 2005). Há, contudo, uma gama de inovações que atendem aos princípios do

desenvolvimento sustentável, as ecoinovações, que podem ser orientadas pelas atividades ambientais da Divisão de Estatísticas das Nações Unidas (UNSD, 2011), conforme segue:

- i. Atividades de *proteção ambiental*: visam à prevenção, redução e eliminação da poluição, bem como qualquer outro tipo de degradação do meio ambiente. Incluem proteção do ar e do clima; proteção e recuperação de solos, águas subterrâneas e superficiais; proteção da biodiversidade e paisagens naturais; proteção contra a radiação; diminuição de ruído e vibrações (excluindo local de trabalho); gestão de águas residuais; gestão de resíduos; e P&D para a proteção do ambiente.
- ii. Atividades de *gestão de recursos naturais*: visam preservar e manter o estoque de salvaguarda dos recursos naturais contra fenômenos de esgotamento. Incluem as gestões de recursos hídricos, de recursos florestais, da fauna e da flora selvagens, da energia fóssil, de minerais; e a P&D em gestão de recursos naturais.
- iii. Atividades de *uso de recursos naturais*: visam à abstração, colheita e extração de recursos naturais, incluindo a exploração e o desenvolvimento. Incluem os usos de recursos hídricos, de recursos florestais naturais, da fauna e da flora selvagens, de energia fóssil e de minerais.

Quanto ao conceito, utilizado como base para este estudo, adotou-se o que define ecoinovações como a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo de produção, serviço ou método de gestão, que é novo para a organização e que resulta, ao longo do seu ciclo de vida, nas reduções do risco ambiental, da poluição e de outros impactos negativos no uso dos recursos (incluindo energia) - quando comparado a alternativas relevantes (Kemp & Pearson, 2007).

Ecoinovação também é definida como a introdução de um produto (bem ou serviço) ou processo novo ou significativamente melhorado, ou mudança organizacional, ou solução de marketing, que reduza o uso de recursos naturais (incluindo materiais, energia, água e terra) e a liberação de substâncias poluidoras ao longo do ciclo de vida do produto (EIO, 2013).

Shrivastava (1995) define ecoinovações como equipamentos de produção, métodos e procedimentos, design de produtos e mecanismos de entrega de produtos, que economizam energia e recursos naturais, minimizam o impacto ambiental das atividades humanas e protegem o ambiente natural. Incluem a parte “hardware”, tais como equipamentos de controle de poluição, instrumentos de mensuração ecológica e tecnologias de produção mais limpa. Também incluem métodos de operação, como práticas de gestão de resíduos e sistemas de gestão orientados à conservação dos recursos naturais.

Note-se, segundo as definições acima, certa falta de alinhamento conceitual entre as literaturas que versam sobre ecoinovações e suas derivações. Observa-se, inclusive, que a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), uma das principais referências mundiais em inovação, ainda não conceituou ecoinovação por meio do Manual de Oslo. Malgrado divergências conceituais, ecoinovação está relacionada à inovação tecnológica de produto e de processo (Fronzel et al., 2003) e é, muitas vezes, generalizada como tal, o que não parece apropriado. É necessário aprofundar a discussão e apresentar as tipologias das ecoinovações, que podem ser classificadas em seis tipos: produto, processo, organizacional, marketing, social e sistemas de ecoinovação (EIO, 2013) (Quadro 1).

Quadro 1 – Tipos de Ecoinovação

Tipo	Descrição
Produto	Ecoinovação de produto é a introdução de bens ou serviços que reduzem o impacto sobre o meio ambiente. Projetos de produto incluem princípios de ecodesign, que levam em conta a limitação de recursos naturais. O produto é concebido de forma a promover a diminuição dos impactos ambientais e o menor uso de recursos durante a operação. Deve ter opções de recuperação, como a reparação, reutilização ou reciclagem, as quais devem se tornar estratégias chave do negócio para diminuir não apenas custos, mas também para aumentar a segurança de abastecimento e a resiliência dos mercados. Serviços ecoinovadores incluem produtos verdes financeiros (tais como ecoarrendamento), serviços ambientais (tais como gestão de resíduos) e serviços menos intensivos em recursos (tais como compartilhamento de automóvel/ <i>car sharing</i>).
Processo	Ecoinovação de processo é a introdução de tecnologias que reduzem o uso de material, insumos e riscos durante o processo de produção e resultam na redução de custos. Exemplos incluem a substituição de insumos nocivos (substâncias tóxicas) durante o processo de produção, a otimização do processo de produção (por exemplo, melhoria da eficiência energética) e a redução dos impactos negativos das saídas de produção (como emissões). Também incluem a redução do <i>input</i> de materiais dos processos de produção e de consumo, as chamadas “mochilas ecológicas” (<i>ecological rucksacks</i>) (quantidade em kg dos materiais retirados da natureza para criar um produto ou serviço, menos o peso real do produto). Os termos comuns relacionados com processos ecoinovadores incluem a produção mais limpa (P+L), zero emissões, zero desperdício e eficiência de materiais.
Organiza- cional	Ecoinovação organizacional é a introdução de métodos de organização e de sistemas de gestão para lidar com as práticas ambientais em produção e produtos. Tais mudanças organizacionais são a dimensão socioeconômica da inovação de processo, especialmente por estarem diretamente ligadas ao aprendizado e à educação. Incluem esquemas de prevenção da poluição, gestão ambiental, sistemas de auditoria e gestão da cadeia de valor (cooperação entre empresas para aproximar o fornecimento e evitar danos ambientais em toda a cadeia). Ecoinovação organizacional pode também incluir formas organizacionais de colaboração em

	ecoinovação; isso pode variar de redes empresariais e <i>clusters</i> até soluções avançadas em simbiose industrial.
Marketing	Ecoinovação de marketing envolve mudanças no design do produto ou da embalagem e na exposição, promoção ou preço do produto. Utiliza técnicas capazes de conduzir as pessoas ou empresas a comprar, usar ou implementar ecoinovações. Em termos do marketing, a marca “verde” é a chave para a estratégia de comercialização de produtos ou serviços. Além da marca verde, a rotulagem ecológica é também um aspecto da ecoinovação de marketing.
Social	Ecoinovação social é a inclusão do ser humano nas discussões sobre o consumo de recursos. Inclui dimensões de comportamento e de mudança do estilo de vida baseadas no mercado, e a consequente demanda por bens e serviços verdes. Também inclui a inovação orientada pelo usuário, o que significa que a funcionalidade de novos produtos é desenvolvida com as partes interessadas, minimizando assim o risco de características de produto supérfluas. Outro aspecto importante é o compartilhamento do produto, o que pode levar a uma diminuição absoluta da utilização de materiais, sem diminuir a qualidade do produto ou do serviço. A dimensão social também envolve o potencial criativo da sociedade, com exemplos de conceitos inovadores de vida sustentável.
Sistema	Sistema de ecoinovação é uma série de inovações conectadas que melhoram ou criam inteiramente novos sistemas com funções inteligentes e com impacto ambiental reduzido. Uma característica fundamental do sistema de ecoinovação são as mudanças implementadas pelo design. Por exemplo, o sistema de ecoinovação de uma casa deve inovar no design geral da casa para melhorar a sua funcionalidade e eficiência energética. "Cidades verdes" são outro exemplo de sistema de ecoinovação, quando inovação e esforços de planejamento público levam a mudanças capazes de tornar mais “verde” o funcionamento e a vida na cidade. Isso inclui, por exemplo, novos conceitos de mobilidade que não abordam apenas os serviços de transportes públicos tradicionais, mas também sistemas de compartilhamento de bicicletas e automóveis (e respectivas infraestruturas), bem como o planejamento para reduzir a necessidade de viagens, o que exige que empresas, supermercados, escolas, creches, dentre outras instituições, sejam incorporados em novos conjuntos habitacionais.

Fonte: EIO (2013)

Kemp e Pearson (2007) classificam ecoinovações em (i) tecnologias ambientais; (ii) inovações em produtos e serviços; (iii) inovações organizacionais; e (iv) inovações em sistemas verdes. Mais especificamente:

- i. *Tecnologias ambientais*: controle de poluição, incluindo as tecnologias de tratamento de águas residuais; tratamento da poluição liberada no meio ambiente; novos processos de fabricação que são menos poluentes e/ou mais eficientes no uso de recursos do que as alternativas relevantes; gestão de resíduos; instrumentação e monitoramento ambiental; uso de energia renovável; abastecimento de água; controles de ruído e vibração.

ii. *Inovações de produto/serviço*: produtos novos ou ambientalmente melhorados, incluindo: *ecohouses* e edifícios; produtos financeiros verdes (tais como ecolocação); serviços ambientais, como gestão de resíduos sólidos e perigosos, gestão de água e de águas residuais, consultoria ambiental, testes e engenharia, outros testes e serviços analíticos; serviços que são menos poluentes e intensivos em recursos (*car sharing*, por exemplo).

iii. *Inovações organizacionais*: introdução de métodos organizacionais e sistemas de gestão ambiental em produção e produtos. Podem abranger sistemas de prevenção da poluição, gestão e auditoria de sistemas ambientais (EMAS e ISO 14.001, por exemplo) e gestão da cadeia de valor (“do berço ao berço”).

iv. *Inovações em sistemas verdes*: sistemas alternativos de produção e consumo que são mais ambientalmente amigáveis do que os sistemas existentes, a exemplo da agricultura biológica e uso de energias renováveis.

Ecoinovação pode ser tanto definida como um conjunto de técnicas (tecnologias, equipamentos, procedimentos operacionais) quanto uma orientação de gestão (design de produto, produção, gestão ambiental, estratégia tecnológica e projeto de sistemas industriais) (Shrivastava, 1995).

No nível tecnológico, nota-se que outras variáveis têm emergido enquanto possíveis componentes de ecoinovações. Uma das lacunas percebidas nos indicadores comumente utilizados para a mensuração de ecoinovações é a ideação, ou a inspiração para a inovação, a primeira etapa técnica da P&D. É fundamental que os atributos sustentáveis de uma ecoinovação emergjam já no conceito desta, nos primeiros debates técnicos, especialmente entre as engenharias e o marketing. Atento a essa realidade, este estudo identificou a biomimética, ou inspiração baseada na natureza, enquanto um possível indicador das ecoinovações de produto. A biomimética é a capacidade de mimetizar ou imitar a experiência da natureza: uma prática do desenvolvimento sustentável de produtos (Benyus, 2011; Pauw, 2015; Studart, 2012; Solga, Cerman, Striffler, Spaeth, & Barthlott, 2007; Nakrani & Tovey, 2004; Lurie-Luke, 2014; Buck, 2015).

Além do nível tecnológico, nota-se que ecoinovações têm evoluído para o nível não tecnológico. Podem ser classificadas em três tipos: (i) tecnológico, de produtos e processos, em que práticas reativas de controle da poluição no fim da linha (*end-of-pipe*) evoluem para práticas preventivas de produção mais limpa (P+L) (Rennings, 2000; Frondel et al., 2003; OECD, 2009); (ii) métodos organizacionais e de marketing, em que a visão antes limitada à tecnologia é expandida para uma visão de gestão organizacional das ecoinovações; e (iii)

institucional, que expande a gestão organizacional da empresa para um nível de arranjos institucionais com a cadeia de valor, incluindo a mudança em normas sociais, valores e cultura deecoinovação. Este último nível possui considerável potencial de geração de benefícios ambientais, porém maior dificuldade de coordenação, uma vez que envolve sistemas emergentes e integrados de ecologia industrial (Figura 8) (OECD, 2009).

Figura 8 - Evolução das ecoinovações

Fonte: OCDE (2009)

Especificamente no nível tecnológico, uma ecoinovação pode ser tanto resultado da atividade principal de produção e comercialização de tecnologias “mais limpas” para o mercado (empresas ambientalmente intensivas) quanto à adoção de uma inovação externa para introdução em processos internos (empresas ambientalmente intermediárias) (Rennings, 2000; EIO, 2013). De forma geral, a inovação de produto das empresas ambientalmente intensivas será introduzida como a inovação de processo das empresas ambientalmente intermediárias. Assim, ecoinovações tecnológicas podem ser originadas dos seguintes modelos de negócios: (i) ecoinovadores estratégicos: ativos nos setores de equipamentos e de serviços, desenvolvem ecoinovações para venda para outras empresas; (ii) ecoadotantes estratégicos: introduzem intencionalmente ecoinovações, sejam desenvolvidas internamente, sejam adquiridas a partir de outras empresas, ou ambas; e (iii) ecoinovadores passivos: introduzem inovações que resultarão em benefícios ambientais, porém, sem uma estratégia específica de ecoinovação (Kemp & Pearson, 2007).

Note-se que os modelos de negócios apresentados são baseados na adoção de práticas de manufatura sustentável, que conectam um sistema de produção circular ao ambiente natural. Em um sistema de produção circular, a produção é mais limpa e parte da lógica da minimização da extração de matérias primas do ambiente natural. Adicionalmente à produção são integrados sistemas de recuperação e remanufatura de materiais, sistemas de minimização da emissão de resíduos, e sistemas de eficiência em embalagens e distribuição. Por fim,

sistemas de logística reversa são adotados a fim de reciclar produtos pós-uso, internamente à empresa ou a partir de outra empresa da cadeia de valor (Figura 9) (OECD, 2009).

Figura 9 - Sistema de produção circular

Fonte: OCDE (2009)

Apresentadas as tipologias e os principais conceitos inerentes às ecoinovações é possível avançar para o tópico seguinte, dos determinantes das ecoinovações.

2.2.1 Os determinantes das ecoinovações

A descrição do presente tópico é iniciada com aspectos teóricos da economia da inovação, para que então seja introduzida a descrição dos determinantes das ecoinovações. Em economia da inovação, inovações industriais apresentam uma sequência evolutiva. Partem de uma mudança tecnológica, evoluem para mudanças no sistema tecnológico e, por fim, podem originar mudanças no paradigma técnico-econômico. No nível da mudança tecnológica, uma tecnologia pode ser dos tipos incremental ou radical. Uma tecnologia incremental abrange melhorias em design ou na qualidade dos produtos, aperfeiçoamentos em layout e processos, e novos arranjos logísticos. Uma tecnologia radical geralmente é fruto de atividades de P&D e tem um caráter descontínuo no tempo e nos setores. Rompe as trajetórias existentes, inaugurando uma nova rota tecnológica, ou seja, um conjunto de opções técnicas adotadas por empresas ao longo de uma trajetória evolutiva (Freeman & Soete, 1997; Tigre, 2014). No grau incremental, a tecnologia pode ser melhorada para a empresa, para o país ou para o mundo. No grau radical, a tecnologia pode ser nova para a empresa, para o país ou para o mundo (Tidd, Bessant, & Pavit, 2008).

O estágio seguinte de uma inovação industrial é a mudança no sistema tecnológico - quando um ou mais setores econômicos são transformados pelo surgimento de um novo campo tecnológico. Essas inovações tanto abrangem mudanças organizacionais internas

quanto externas, na relação com o mercado. Por fim, ocorrem as mudanças no paradigma técnico-econômico, que envolvem inovações no tecido socioeconômico no qual elas estão inseridas. São mudanças que não ocorrem com frequência, mas possuem influência abrangente e duradoura. É a chamada mudança de paradigma (Tigre, 2014).

Percebe-se que as teorias da economia da inovação já estão assentadas pela literatura, ao passo que a teoria da ecoinovação (ou teoria da economia ecológica, ou teoria da sustentabilidade) é emergente e carece de contribuições. Ainda assim, é possível depreender da literatura que as teorias da ecoinovação fazem parte de uma mudança no paradigma técnico-econômico, uma vez que demonstraram ter superado os estágios anteriores, de mudança tecnológica (inovações incremental e radical) e de mudança no sistema tecnológico (Rennings, 2000).

Também é possível depreender que alguns aspectos teóricos da economia da inovação são comuns a aspectos da teoria da ecoinovação. Considera-se que tanto a abordagem teórica neoclássica quanto a evolucionária da economia da inovação podem orientar estudos em teoria da ecoinovação, uma vez que ambas abordam a complexidade dos fatores determinantes das decisões de suas implementações (Rennings, 2000). Nota-se que a falta de clareza sobre os determinantes das ecoinovações tem sido apontada como uma das principais causas de falha na mensuração e gestão de ecoinovações, uma vez que os determinantes, quando não forem o objeto de mensuração em si, devem ser tratados como variáveis de controle (Kemp & Pearson, 2007).

A linha neoclássica possui abordagens em economia ambiental e economia da inovação. A abordagem da economia ambiental está relacionada aos incentivos de política ambiental para o aumento da eficiência de custos e para a redução de emissões. Já a abordagem da economia da inovação está mais relacionada à complexidade de fatores que determinam as decisões em ecoinovação. São três os fatores apontados pela literatura como determinantes das ecoinovações: (i) desenvolvimento tecnológico (*technology push*), (ii) demanda mercadológica (*market pull*) e (iii) regulação (Rennings, 2000).

Modelos determinísticos definem que, sobre o (i) desenvolvimento tecnológico (*technology push*), invenções tecnológicas ecoeficientes desenvolvidas pela P&D podem ser introduzidas com sucesso no mercado, sem que necessidades do consumidor sejam previamente pesquisadas; já sobre a (ii) demanda mercadológica (*market pull*), a P&D atende à preferência dos consumidores por produtos ambientalmente amigáveis. Os dois determinantes acima têm sido, contudo, insuficientes para que ecoinovações sejam compreendidas e difundidas. O (iii) fator regulatório tem emergido como um terceiro

determinante das ecoinovações. Geralmente está mais voltado à ecoinovações em processos que buscam atender às normas técnicas de legislação ambiental, a fim de neutralizar custos externos (Porter & Van Der Linde, 1995; Kemp, 1997; Rennings, 2000; Wong, 2013; Savaget & Carvalho, 2016). Todavia, em estudo recente, observou-se que a estratégia de criação de novos negócios supera em importância o fator regulatório enquanto determinante da introdução de ecoinovações, sinalizando uma mudança de foco estratégico sobre as ecoinovações (Savaget & Carvalho, 2016).

Já na linha evolucionária os principais determinantes da implementação de ecoinovações estão relacionados à irreversibilidade da inovação e à trajetória dependente (*path dependence*), ou *lock-in* tecnológico. Com base nesses determinantes sistêmicos as indústrias ou nações ancoram suas políticas tecnológicas de longo prazo, uma vez que estão relacionados à ecologia, poluição e às mudanças climáticas (Rennings, 2000).

Em visão complementar, determinantes da ecoinovação também são destacados por Kemp e Pearson (2007), Horbach (2008), e Horbach et al., (2012) como:

- i. As capacidades tecnológicas: recursos financeiros e humanos, as despesas de P&D para apoio às capacidades tecnológicas da empresa; a existência de sistemas de gestão ambiental, práticas e ferramentas; a disponibilidade de mão de obra altamente qualificada; a disponibilidade de capital de risco.
- ii. A demanda mercadológica: a demanda mercadológica esperada; os problemas de apropriação: situação da concorrência (por exemplo, número de concorrentes e concentração do mercado); a preocupação social quanto à necessidade de produção limpa; a consciência ambiental e preferência por produtos ambientalmente amigáveis.
- iii. As políticas regulatórias e forças institucionais: as políticas ambientais (por exemplo, rigor regulatório, diferentes instrumentos de política ambiental, como normas de base tecnológica, os impostos por emissão de poluentes ou responsabilidades por danos ambientais); a influência das partes interessadas e motivações para a inovação ambiental (por exemplo, autoridades públicas, grupos de pressão, tais como associações industriais ou comerciais); os instrumentos de incentivo fiscal ou de financiamento público; as redes de cooperação para a inovação.

Quando houver esforços de mensuração das ecoinovações, e de seus determinantes, também há que se considerar outras características organizacionais, que podem ser definidas como variáveis de controle. Essas variáveis são: (i) atributos da empresa (setor de atuação, tamanho, listagem no mercado de capitais, quantidade de empregados, dentre outras); (ii)

condições comerciais (tamanho do mercado, competição, vendas, rentabilidade); e (iii) os impactos ambientais dos processos de produção e dos produtos, por diferentes atividades ambientais (importância de cada impacto e mudança em impactos durante os últimos três anos) (Kemp & Pearson, 2007). Note-se, contudo, que os impactos ambientais dos processos de produção e dos produtos (iii) também podem ser considerado o objeto a ser mensurado em si.

Especificamente em relação às forças institucionais, tanto Kemp e Pearson (2007) quanto Horbach (2008) definem a cooperação em P&D com agentes tecnológicos como um determinante da introdução de ecoinovações. Tal relação será discutida nos tópicos seguintes.

2.3 A cooperação em P&D

Este tópico é iniciado com a apresentação do conceito de cooperação em P&D. Em seguida é destacada a função das empresas nas práticas de cooperação em P&D. Inovação aberta, apoio governamental e fluxos de conhecimento da cooperação em P&D são abordados na sequência. Por fim, é apresentada a relação entre cooperação em P&D e a introdução de ecoinovações e as respectivas hipóteses do estudo.

Cooperação é uma ação desempenhada de forma interdependente para o alcance de objetivos comuns. Na cooperação há vínculos e reciprocidade entre os sujeitos de um grupo com o principal objetivo de construção do conhecimento. Cooperação difere de colaboração no sentido de que esta última não requer formação de vínculos e representa contribuições individuais para alcance de objetivos isolados. A cooperação representa uma etapa de trocas sociais posterior à colaboração (Piaget, 1973).

Em teorias da inovação, cooperação em P&D é a formação de alianças estratégicas para a complementação de capacidades tecnológico-científicas e divisão de custos e riscos inerentes a objetivos comuns de inovação (Tigre, 2014). Também conhecida na literatura como parceria de pesquisa, a cooperação em P&D pode ser caracterizada em termos dos parceiros de relacionamento, públicos ou privados, ou em termos da estrutura organizacional da parceria, de acordos formais ou informais. A literatura explica, a partir de três perspectivas teóricas, porque parceiros tecnológicos realizam cooperação em P&D: (i) custos de transação, relacionados aos custos contratuais para produção e disseminação de conhecimentos técnicos; (ii) organização industrial, relacionada à potencial falha mercadológica do conhecimento tecnológico científico criado; e (iii) gestão estratégica, podendo estar relacionada à análise das forças competitivas, das redes estratégicas, da visão baseada em recursos, da

complementaridade de capacidades dinâmicas, ou de uma estratégia (plano estratégico) prospectiva para desenvolvimentos tecnológicos futuros (Hagedoorn et al., 2000).

Ao passo que as perspectivas teóricas de custos de transação e de organização industrial estão mais voltadas para uma análise econômica da cooperação em P&D, a gestão estratégica está mais voltada para uma análise teórica da administração. Embora se reconheça a importância da análise econômica para determinação matemática do potencial competitivo da cooperação em P&D, este estudo prioriza a verificação teórico-empírica da cooperação em P&D enquanto uma prática de gestão estratégica, mais especificamente da gestão estratégica de redes tecnológicas.

No contexto da gestão estratégica, é central abordar a função das multinacionais nas atividades de cooperação em P&D, uma vez que elas respondem por metade do investimento mundial em P&D. O investimento de multinacionais em P&D é, muitas vezes, superior ao investimento total em P&D dos países nos quais as multinacionais estão instaladas (UNCTAD, 2005).

No Brasil, seguindo a tendência global, cerca de 50% do investimento total em P&D é realizado por subsidiárias de multinacionais estrangeiras, evidenciando que essas empresas lideram importantes agendas de inovação em cadeias produtivas de diferentes setores econômicos (Arruda, Vermulm, & Hollanda, 2006). Após fortalecer as bases de seus Sistemas Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCT&I), notadamente investindo em infraestrutura e formação de doutores, países emergentes como, por exemplo, Brasil, Índia, China, e África do Sul aumentam sua capacidade de atrair centros de P&D de multinacionais e ou apoiar a construção de centros de P&D de empresas nacionais (Tigre, 2014).

Independentemente de priorizar empresas nacionais ou multinacionais, é central para os governos que se apoie a P&D nacional, especialmente nas fases iniciais. P&D é considerado um dos fatores mais importantes para o aumento do progresso tecnológico e consequente crescimento econômico dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Não é do interesse governamental que haja alto nível de falha na contratação e execução de projetos de P&D. Sabe-se que falhas em projetos de P&D são da ordem de bilhões de dólares em todo o mundo e consideradas altas na maioria dos setores dotados do uso intensivo de conhecimento (Lee & Park, 2006). Muito embora a falha seja um fator conhecidamente importante para o aprendizado organizacional, é certo considerar que o SNIC&T de países com alto nível de falha, ou com baixa execução de projetos de P&D, podem ter seu progresso técnico comprometido ou, no mínimo, retardado.

As estratégias governamentais de promoção e apoio à P&D diferem de país para país em função do tamanho, nível de desenvolvimento tecnológico, perfil institucional e importância das empresas existentes no SNCT&I do país, por isso não há uma estratégia única (Arruda et al., 2006). Em geral, o apoio governamental à P&D empresarial assume três formas complementares: política de encomendas tecnológicas e contratos, incentivos fiscais e apoio à infraestrutura de pesquisa. Os principais objetivos da promoção e apoio à P&D pelos governos são: corrigir falhas do mercado em investimento em P&D; acelerar a inovação tecnológica visando a maior competitividade internacional; e aumentar a troca de conhecimento tecnológico entre empresas, universidades e institutos de pesquisa (Hagedoorn et. al., 2000).

Especificamente sobre a troca de conhecimento tecnológico entre empresas, nacionais ou multinacionais, e demais agentes do SNCT&I, o apoio dos governos é geralmente realizado por meio de financiamento e ou incentivos fiscais às atividades de inovação (Tigre, 2014). Para recebimento de apoio governamental, é comum que critérios de cooperação em P&D para difusão de conhecimentos devam ser cumpridos pelas empresas, especialmente com universidades e ICTs. Não apenas as multinacionais são estimuladas a investir em P&D cooperada. Geralmente estratégias públicas combinadas consideraram apoio às práticas de inovação aberta (*open innovation*) de empresas nacionais e multinacionais, incluindo a cooperação em P&D (Arruda et al., 2006).

A cooperação em P&D pode ser considerada uma prática do paradigma da inovação aberta, muito embora a literatura deixe a desejar no esclarecimento dessa relação. Inovação aberta é definida como a busca de conhecimentos externos e ou compartilhamento dos conhecimentos internos a partir de relações com os diversos *stakeholders* da empresa (Chesbrough, 2003). Contudo, não parece apropriado generalizar cooperação em P&D como inovação aberta. O escopo da inovação aberta é mais amplo e geralmente relacionado a projetos de inovação, o que pode ir além da P&D. Projetos podem abranger inovações tecnológicas de produto ou de processo, de marketing e organizacionais. Inovação aberta também pode estar relacionada à compra ou à venda de propriedade intelectual (PI), como patentes, licenças, direitos comerciais (*copyrights*) ou marcas comerciais (*trademarks*). Pode estar ainda relacionada a acordos de recebimento ou pagamento de *royalties* (Cheng & Huizingh, 2014).

Quando a inovação aberta estiver mais diretamente relacionada a projetos de inovação tecnológica de produto, ou de processos que envolvam atividades inovativas de P&D, então é possível definir tal prática como cooperação em P&D (Du, Leten, & Vanhaverbeke, 2014;

Suh & Kim, 2014; Cheng & Huizingh, 2014). Observe-se, porém, que alguns elementos da inovação aberta podem ser comuns à cooperação em P&D, a exemplo de acordos de PI. O que geralmente há de mais comum entre inovação aberta e cooperação em P&D é que ambas podem possuir graus de abertura, que variam de acordo com a priorização de entrada ou saída do fluxo de conhecimento, chamado de “Funil da Inovação” (Figura 10) (Cheng & Huizingh, 2014).

Figura 10 - Modelo de pesquisa fechada e de pesquisa cooperativa em P&D

Fonte: Adaptado de Chesbrough (2003)

Os fluxos de conhecimento variam de acordo com o que a empresa deseja compartilhar, adquirir ou desenvolver cooperativamente. Também variam de acordo com o estágio de P&D: inicial, intermediário, ou final (Cheng & Huizingh, 2014). Os fluxos de conhecimento podem ser dos seguintes tipos:

- (1) Fluxo de fora para dentro (*outside-in*) – aumento da base de conhecimento e da capacidade de inovação da empresa através da integração com fornecedores, clientes, universidades e outras fontes de conhecimento externo.
- (2) Fluxo de dentro para fora (*inside-out*) – exploração externa de ideias em diferentes mercados, vendendo propriedade intelectual (PI) e multiplicando tecnologias através da canalização de ideias para o ambiente externo.
- (3) Fluxo combinado (*coupled*) – liga os fluxos de fora para dentro e de dentro para fora, por meio de alianças com empresas complementares para as quais é fundamental dar e receber conhecimentos.

É importante observar que o fluxo de conhecimento não é uma atividade estática, dado que P&D é uma atividade inovativa dinâmica que também pode evoluir processualmente e ser

determinada pela capacidade absorptiva de conhecimentos das empresas que cooperam (Cohen & Levinthal, 1989; Bayona, García-Marco, & Huerta, 2001).

Um maior fluxo de conhecimentos é observado na cooperação em P&D entre empresas de setores dotados de uso intensivo de conhecimentos técnico e científico, a exemplo dos setores automotivo, instrumentação, eletricidade, eletrônicos, biotecnologia, computação, química fina (farmacêuticos) e máquinas e equipamentos. Esses setores possuem maior experiência tecnológico-científica e podem ser mais eficientes na absorção de conhecimentos oriundos da cooperação em P&D. Em setores menos intensivos no uso de conhecimentos técnico e científico, como o florestal, de alimentos, de plásticos e de aço, a cooperação em P&D é, ao contrário, menos observada (Bayona et al., 2001; Becker & Dietz, 2004; Tumelero, Santos, & Plonski, 2012).

Além do setor de atuação, a lógica do fluxo de conhecimento também é influenciada pela direcionalidade da cooperação entre os diferentes agentes do SNCT&I, que pode ser: vertical e horizontal. A direcionalidade vertical inclui empresas com competências complementares e especializadas em diferentes mercados. Essa rede geralmente é liderada por uma empresa âncora que possui relações à montante (*upstream*) e à jusante (*downstream*) da cadeia de valor, notadamente com fornecedores e clientes/consumidores, respectivamente. Já a direcionalidade horizontal inclui a rede de empresas que competem no mesmo setor, em termos de produto ou de mercado, que são as concorrentes. As direcionalidades vertical e horizontal são também conhecidas como parcerias baseadas no mercado. Na cooperação também há relações paralelas que vão além da cadeia de valor à montante ou à jusante, são conhecidas como cooperações baseadas em ciência. Na cooperação baseada em ciência incluem-se as universidades, os ICTs, os laboratórios comerciais de P&D, dentre outras colaborações de cunho científico (Fritsch & Lukas, 2001; Tether, 2002; Belderbos, Carree, & Lokshin, 2004; Lee & Park, 2006; Du et al., 2014).

Resumindo, conforme a complexidade tecnológica enfrentada, as empresas definem a direção da cooperação em P&D. Dessa forma, asseguram a integração com as diversas interfaces do sistema tecnológico ou desenvolvem tecnologias comuns aos seus negócios, principalmente em soluções tecnológicas básicas e típicas de uma fase pré-competitiva, que antecede a entrada do produto no mercado (Tigre, 2014). Um bom exemplo de P&D tecnologicamente complexa, que vem lançando mão da cooperação em P&D, é a das ecoinovações, ou inovações ambientais. A relação entre a cooperação em P&D com agentes tecnológicos e a introdução de ecoinovações é abordada no tópico seguinte.

2.3.1 A cooperação em P&D e a introdução de ecoinovações

Ecoinovações representam uma fronteira tecnológica na qual as empresas, em geral, ainda são inexperientes. Há incertezas e complexidade tecnológicas, uma vez que não existem normas generalizadas e aceitas, tanto em soluções tecnológicas específicas quanto em medidas para avaliar o desempenho ambiental de produtos e processos (De Marchi, 2012). A complexidade tecnológica reside na necessidade de integração dos vetores técnicos, sociais e econômicos, do bem estar humano, da baixa emissão de poluentes e da eficiência no uso de recursos (UNEP, 2010). A fim de administrar a complexidade das inovações ambientais, empresas têm lançado mão de práticas de cooperação em P&D, que incluem mudanças organizacionais, ou mudanças no portfólio de produtos ou nos processos de produção implementados para reduzir a “pegada ambiental” das empresas (Hemmelskamp, 1999; Kemp & Pearson, 2007; Horbach, 2008; De Marchi, 2012; Cainelli & Mazzanti, 2013; De Giorgi et al., 2015; Souto & Rodriguez, 2015; Martens et al., 2016).

Note-se que a complexidade tecnológico-ambiental é um *driver* para a cooperação em P&D. Por outro lado também é um fator restritivo em razão da dificuldade de encontrar parceiros tecnológicos com competências complementares (Souto & Rodriguez, 2015). Empresas que realizam ecoinovações possuem baixa intensidade de P&D interna, geralmente por realizarem mais inovações incrementais. Possuem, por outro lado, alta intensidade de cooperação em P&D, utilizando constante fluxo de informações externas, tanto nas direcionalidades vertical e horizontal, quanto nas paralelas à cadeia de valor (Horbach, 2008; De Marchi, 2012).

Empresas cooperam em P&D para introduzir ecoinovações por meio de relações com consumidores, universidades, escolas técnicas, ICTs e fornecedores (Hemmelskamp, 1999). Cooperação com clientes também é investigada e demonstra a necessidade de interagir com os adotantes tecnológicos (Cainelli & Mazzanti, 2013).

A escolha do parceiro tecnológico depende do perfil do projeto de inovação. Em geral, quando a cooperação é realizada com clientes, a empresa geralmente busca o desenvolvimento de inovações radicais ou plataformas de produtos para atuação em novos mercados. Com fornecedores, buscam soluções existentes e aprimoramentos tecnológicos de produtos ou de processos. Com concorrentes, buscam recursos similares para inovações incrementais, grandes projetos e parcerias internacionais. Já a cooperação com institutos de pesquisa visa a inovações em plataformas de produtos e de processos e, eventualmente, em inovação incremental. Por fim, cooperação com universidades visa à complementaridade de

conhecimentos técnicos, e a aceleração de projetos incertos, a longo prazo, está mais relacionada a projetos de ciência básica ou ao primeiro desenvolvimento de inovações radicais (Garcez, Sbragia, & Kruglianskas, 2014).

Muito embora a cooperação em P&D com diferentes parceiros tecnológicos já seja identificada na literatura, nota-se que muitos estudos são predominantemente de ordem teórica, não empírica. Ademais, estudos têm priorizado a investigação de relações de cooperação unilateral com universidades ou clientes, por exemplo. Pouca atenção tem sido dada à investigação do efeito da cooperação em P&D em rede com diferentes parceiros tecnológicos, sobre as atividades internas e externas de inovação. Evidências indicam que a influência da cooperação em P&D sobre atividades de inovação é melhor explicada pela cooperação sistêmica com a rede de parceiros tecnológicos, em detrimento à cooperação unilateral com um único parceiro. A heterogeneidade dos parceiros libera sinergias tecnológicas adicionais, o que não surpreende, uma vez que o aprendizado cumulativo pode melhor estimular as atividades de inovação das empresas que cooperam (Becker & Dietz, 2004).

Complementarmente, nota-se que a maioria dos estudos que buscam compreender as relações entre cooperação em P&D e ecoinovações tem investigado a cooperação para a ecoinovação em geral, muitas vezes limitando a categorização de ecoinovações a um único constructo teórico. Sabe-se, contudo, que ecoinovações podem apresentar diferentes tipologias (Shrivastava, 1995; Kemp & Pearson, 2007; EIO, 2013). Portanto, limitar o estudo das ecoinovações a um constructo pode dificultar a compreensão da influência da cooperação em P&D sobre os diferentes tipos de ecoinovações tecnológicas.

Também se observa que estudos empíricos têm priorizado a investigação dos benefícios da cooperação em P&D sobre atividades internas de inovação como, por exemplo, o aumento da intensidade interna de P&D e da mão de obra empregada em P&D. A influência da cooperação em P&D sobre atividades externas de inovação, a exemplo da introdução de produtos no mercado, ainda carece de contribuições (Becker e Dietz, 2004). Ademais, esforços tecnológicos de inovações de produto e de processo são justamente uma das principais causas de estímulo à cooperação em P&D apontadas pela literatura (Veugelers, 1998; Tether, 2002; Chesbrough, 2003). Diante do exposto acima, emerge a oportunidade para a realização de novos estudos empíricos, o que permite propor a primeira hipótese deste estudo:

Hipótese 1 (H¹): A intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações de produto no mercado.

A cooperação em P&D tem se mostrado eficiente no sentido de assegurar características ambientais dos componentes utilizados nos produtos. Sabe-se, contudo, que o alcance de conformidades técnico-ambientais de processos internos também é requerido pelas indústrias, notadamente em razão da regulação/legislação ambiental, além do aumento da competitividade via melhoria de processos (De Marchi, 2012). Tais ecoinovações nem sempre estão disponíveis a partir da base de conhecimento tradicional possuída pela indústria, a exemplo de ecoinovações tecnológicas de processos para controle das emissões de carbono e para aumento da eficiência energética (Cainelli & Mazzanti, 2013; De Giorgi et al., 2015). Com a evolução teórica sobre as inovações de processos (produção mais limpa e de fim de linha) (Rennings, 2000; Frondel et al., 2003; Kemp & Pearson, 2007; Horbach et al., 2009; Arundel & Kemp, 2009; EIO, 2013), outros modelos mais específicos apresentam oportunidades para pesquisa. Os estudos até o momento realizados pouco ou nada se preocuparam com a mensuração da intensidade de cooperação em P&D, especificamente sobre ecoinovações de processo. Essa discussão permite a proposição da segunda hipótese deste estudo:

Hipótese 2 (H²): A intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações em processos industriais.

De forma similar, estudos até o momento realizados pouco ou nada se preocuparam sobre a mensuração da intensidade da cooperação em P&D, especificamente sobre ecoinovações organizacionais, o que permite a proposição da hipótese seguinte deste estudo:

Hipótese 3 (H³): A intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações organizacionais.

Após abordar a relação entre a cooperação em P&D e o desempenho ambiental por meio da introdução de ecoinovações, é possível avançar para o tópico final deste estudo, que trata do desempenho socioeconômico de produtos das indústrias que introduziram ecoinovações (Horbach, 2008; Horbach et al., 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014).

2.4 As ecoinovações e o desempenho socioeconômico de empresas

Este tópico descreve os indicadores mais comuns relacionados à mensuração do desempenho industrial nas dimensões ambiental, econômica e social. Os indicadores de cada dimensão são abordados a partir dos princípios da sustentabilidade.

Fazer gestão do uso de recursos naturais e da relação com o ambiente natural é agenda prioritária para a competitividade industrial do século XXI. Por um lado se fortalecem as leis

que regulamentam a relação da indústria com o meio ambiente. Por outro lado o consumidor exige responsabilidade ambiental nos processos industriais e nos produtos que consome. Já se sabe, contudo, que o esforço industrial para estabelecer uma relação sustentável com o Planeta é recompensado pela melhoria do desempenho industrial nas dimensões social e econômica, além, é claro, da ambiental (Shrivastava, 1995; Klassen & Whybar, 1999; Horbach et al., 2012; Pujari, 2006; Cheng et al., 2014; Lee & Min, 2015; Savaget & Carvalho, 2016; Brasil et al., 2016; Martens et al., 2016).

Na dimensão ambiental da sustentabilidade, o desempenho pode ser mensurado a partir dos efeitos da organização sobre os sistemas naturais vivos e não vivos, incluindo a terra, o ar, a água e os ecossistemas. Nas indústrias, o conceito abrange os efeitos relacionados aos *inputs*, ou insumos de entrada, como a energia, a matéria prima e a água; e aos *outputs*, ou saídas, como as emissões, os efluentes e os resíduos. Adicionalmente, abrange a biodiversidade, os impactos dos transportes e os produtos e serviços, bem como a conformidade e as despesas ambientais (GRI, 2015).

Note-se, portanto, que a sustentabilidade ambiental está relacionada ao conceito das ecoinovações anteriormente apresentado. Assim, é possível considerar que ao introduzir ecoinovações a indústria está atendendo a princípios da sustentabilidade ambiental. O desempenho das ecoinovações, por sua vez, pode ser mensurado a partir de indicadores organizacionais e tecnológicos, estes últimos relacionados ao desempenho de inovações de processos e de produtos. Em desempenho de processos, a mensuração pode ser realizada a partir de indicadores de inovação e de indicadores de eficiência. Indicadores de inovação apresentam os seguintes *inputs*: (i) total investido em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), (ii) número de projetos de PD&I executados em inovações tecnológicas de processo e de produto, (iii) investimentos financeiros em treinamento, (iv) quantidade de pessoas empregadas em PD&I; e os seguintes *outputs*: (i) quantidade de patentes depositadas; (ii) novos processos e produtos implementados; (iii) vendas relativas de inovações tecnológicas ambientais; e (iv) gastos em inovação ambiental (Kemp & Pearson, 2007).

Medidas de eficiência envolvem as inovações tecnológicas anteriormente discutidas, de dois tipos de processo: (i) tecnologias de produção mais limpa (P+L) ou tecnologias integradas; e as (ii) tecnologias de fim de linha (*end-of-pipe*) (Rennings, 2000; Frondel et al., 2003). As tecnologias de produção mais limpa são consideradas preventivas, pois reduzem impactos prejudiciais ao meio ambiente durante o processo de produção. São indicadores comuns: (a) a redução do uso de energia por unidade produzida (u/p), (b) a redução do uso de materiais por u/p, (c) a substituição de substâncias perigosas (substituição de solventes

orgânicos por água, uso de biomateriais, por exemplo) (d) a reciclagem de resíduos, água e materiais, e o (e) uso de energia renovável (Klassen & Whybar, 1999; Frondel et al., 2003; Kemp & Pearson, 2007; Arundel & Kemp, 2009; GRI, 2013; Wong, 2013; Hourneaux et al., 2014).

Já as tecnologias de fim de linha são consideradas reativas e geralmente apoiam o cumprimento de regulações ambientais. As tecnologias de fim de linha (geralmente menos vantajosas do que as tecnologias de produção mais limpa) são tecnologias adicionais para o cumprimento de requisitos ambientais e não constituem uma parte essencial do processo de produção. São indicadores comuns: (a) o controle da qualidade do ar (equipamentos de limpeza de gases emitidos), (b) o controle da qualidade de águas residuais, (c) o controle da qualidade do solo, e (d) o controle da qualidade sonora (absorvedores de som), (e) a eliminação de resíduos (incineração) (Frondel et al., 2003; Arundel & Kemp, 2009; Kemp & Pearson, 2007).

Medidas de eficiência também envolvem inovações tecnológicas de produtos. Estão mais relacionadas aos ecoinovadores estratégicos e a produtos duráveis. Por serem medidas pós venda e uso do produto, são de mais difícil mensuração. Reduzem impactos prejudiciais ao meio ambiente direta e indiretamente durante o ciclo de vida do produto. Podem apresentar os seguintes indicadores de desempenho: (a) redução do uso de energia; (b) redução das emissões de gases; (c) redução da poluição da água; (d) redução da poluição do solo; (e) redução da poluição sonora; e (f) reciclagem de produto após o uso pelo cliente (Rennings, 2000; Frondel et al., 2003; Kemp & Pearson, 2007; Horbach et al., 2009; Arundel & Kemp, 2009; EIO, 2013; Wong, 2013; Cheng et al., 2014; Savaget & Carvalho, 2016; Martens et al., 2016).

Quanto ao desempenho de ecoinovações organizacionais são utilizados indicadores para mensuração de práticas de (i) proteção da biodiversidade, (ii) conformidade ambiental, (iii) transportes, e (iv) outros aspectos ambientais em geral (Hourneaux et al., 2014; GRI, 2015). Melhorias de ativos físicos, da cultura organizacional, da coordenação interfuncional, da adequação à legislação, do acesso a fundos governamentais de financiamento, também são indicadores comuns (Klasse & Whybar, 1999). O desempenho em ecoinovações organizacionais também pode ser mensurado por meio da adoção de novos sistemas de gestão (certificações, gestão da cadeia de suprimentos, produção enxuta, gestão da qualidade); da realização de treinamento e desenvolvimento de equipes; da integração de departamentos; da coleta e disseminação de informações sobre tendências em ecoinovação; e da realização de parcerias com outras empresas (Cheng & Shiu, 2012).

Na dimensão econômica da sustentabilidade, o desempenho de empresas pode ser conceituado como os efeitos da empresa sobre as condições econômicas de suas partes interessadas (*stakeholders*) e sobre os sistemas econômicos nos níveis local, nacional e global (GRI, 2015). Nota-se que o conceito acima é deveras abrangente e, por essa razão, a literatura apresenta a oportunidade de medir o desempenho econômico de empresas a partir deecoinovações. Nesse caso são utilizados indicadores como o retorno sobre o investimento (ROI), o aumento de vendas e participação de mercado, a lucratividade, a redução de custos e a melhoria da qualidade (Pujari, 2006; Cheng & Shiu, 2012; Lee & Min, 2015; Brasil et al., 2016). Mais especificamente, estudos têm considerado os indicadores propostos por Im e Workman (2004), relacionados ao ROI, às vendas, à participação de mercado e à lucratividade. Perceba-se, contudo, que rentabilidade financeira e ROI também são indicadores intrínsecos ao desempenho financeiro da empresa, uma vez que estão relacionadas ao lucro (Gitman, 2012).

Observe-se que a melhoria do desempenho econômico de ecoinovações reside na gestão proativa, quando a indústria aloca investimentos em tecnologias capazes de prevenir a poluição e apoiar o uso responsável de recursos naturais. Do contrário, fazendo controle reativo da poluição e usando de forma menos responsável os recursos naturais, evidências indicam que a indústria não consegue melhorar o desempenho econômico e se beneficiar de vantagens competitivas ao implementar ecoinovações (Klassen & Whybar, 1999).

Gestões proativa ou reativa geralmente estão relacionadas à escolha de ecoinovações tecnológicas, de processo e de produto, muito embora ambas estejam correlacionadas. Contudo, a distinção entre o uso de tecnologia preventiva e de controle (reativa) nem sempre é regra observada. É possível considerar que há níveis de proatividade em gestão ambiental. Assim, indústrias podem combinar o uso de tecnologias de produção mais limpa e de fim de linha, assumindo que ambas são complementares (Russo & Fouts, 1997; Aragón-Correa, 1998), criando, assim, um portfólio de tecnologias ambientais (Klassen & Whybar, 1999).

Por fim, descrevem-se os indicadores de desempenho industrial da dimensão social. A dimensão social da sustentabilidade pode ser conceituada como os efeitos que a empresa tem sobre os sistemas sociais em que opera (GRI, 2015). A partir de práticas de sustentabilidade social são observadas melhorias empresariais, a exemplo da imagem “verde” perante os consumidores, da saúde das comunidades em que operam e das relações com fornecedores e demais *stakeholders* (Shrivastava, 1995; Klassen & Whybar, 1999; Horbach et al., 2012). O GRI (2015) sugere que o desempenho social seja mensurado a partir de quatro aspectos: (i)

práticas trabalhistas; (ii) direitos humanos; (iii) sociedade; e (iv) responsabilidade sobre o produto.

Note-se, contudo, que a relação entre a introdução de ecoinovações e o desempenho social ainda é prioritariamente tratada de forma teórica, indicando a oportunidade para que estudos validem empiricamente tais relações. Estudos precedentes não se ocuparam da verificação da influência da introdução de ecoinovações sobre o desempenho social e econômico de empresas, concomitantemente. Também não se ocuparam da mensuração da influência da cooperação em P&D sobre o desempenho socioeconômico de empresas, considerando as ecoinovações como variáveis mediadoras. Tal lacuna permite a proposição das demais hipóteses deste estudo:

Hipótese 4 (H^4): *A introdução de ecoinovações de produto está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas.*

Hipótese 5 (H^5): *A introdução de ecoinovações de processo está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas.*

Hipótese 6 (H^6): *A introdução de ecoinovações organizacionais está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas.*

A síntese das hipóteses deste estudo pode ser observada por meio do Quadro 2.

Quadro 2 – Hipóteses do estudo

Número	Hipótese
H^1	A intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações de produto no mercado
H^2	A intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações em processos industriais
H^3	A intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações organizacionais
H^4	A introdução de ecoinovações de produto está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas
H^5	A introdução de ecoinovações de processo está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas
H^6	A introdução de ecoinovações organizacionais está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas

Fonte: O Autor

Fundamentado o estudo e definidas as hipóteses que serão testadas, é possível apresentar a metodologia do estudo.

3 MÉTODO

A descrição do método é iniciada com a apresentação da natureza (tipo) e do modelo conceitual do estudo (MCE). Em seguida são apresentados os procedimentos metodológicos. Tópicos específicos dos procedimentos metodológicos incluem as descrições do método *Survey*, do universo e da amostra, da técnica de coleta dos dados, da técnica de tratamento e análise dos dados e das limitações metodológicas do estudo (Selltiz, Jahoda, Deutsch, & Cook, 1974; Sampieri, Collado, & Lucio, 2006).

3.1 Natureza do estudo

O estado teórico do conhecimento permite caracterizar a natureza, ou tipo, deste estudo como descritiva-correlacional. É descritiva em razão das questões coletarem dados que mensuraram psicometricamente a percepção de profissionais de empresas industriais (amostra) sobre o objeto do estudo. Após a coleta e a mensuração dos dados, o estudo descreveu como se manifesta cada variável (Selltiz et al., 1974; Sampieri et al., 2006). É correlacional em razão de medir o grau de relação entre diferentes variáveis. Após a medição foi possível realizar os testes de hipótese e descrever como se comportaram as variáveis correlacionadas (Sampieri et al., 2006).

3.2 Modelo conceitual do estudo (MCE) e definição das variáveis

O modelo conceitual do estudo (MCE) resulta dos esforços para responder a seguinte questão de pesquisa: “*Em que medida a cooperação em P&D, mediada pela introdução deecoinovações, influencia o desempenho socioeconômico de empresas?*” A definição das relações entre os constructos (variáveis latentes) do MCE (Figura 11) baseou-se na revisão teórica, na questão principal e nos objetivos da pesquisa.

Figura 11 - Modelo Conceitual do Estudo (MCE)

Fonte: O Autor

Os constructos do MCE foram classificados como: uma variável independente, três mediadoras e uma dependente. A partir da revisão teórica os constructos foram definidos conceitualmente. Complementarmente, para a melhor compreensão dos objetivos do estudo, foram definidos os constructos operacionalmente, ou seja, como serão investigados na prática. Também foram definidas as variáveis de controle (VC) de cada constructo.

As definições teóricas e operacionais dos constructos são apresentadas por meio do Quadro 3.

Quadro 3 - Definição operacional das variáveis do estudo

Tipo	Variável	Definição teórica	Definição operacional
Independente (exógena)	Cooperação em P&D	É a formação de acordos para complementação de capacidades tecnológico científicas e divisão de custos e riscos inerentes a objetivos comuns de inovação (Tigre, 2014)	Constatado por meio da frequência das atividades de cooperação em P&D realizadas pela empresa nos últimos três anos (2014-2016). Mensurado por meio de escala intervalar baseada em Belderbos et al. (2004) e Eurostat (2012), com variação de 10 pontos, de “nunca = 1” até “sempre = 10”
Mediadora	Ecoinovação de produto	É a introdução de bens ou serviços que reduzem o impacto sobre o meio ambiente. Projetos de produto	Constatado por meio da frequência das ecoinovações de produto realizadas pela empresa nos últimos três anos (2014-2016). Mensurada por meio de escala intervalar

		incluem princípios de ecodesign, que levam em conta a limitação de recursos naturais. O produto é concebido de forma a promover a diminuição dos impactos ambientais e o menor uso de recursos durante a operação (EIO, 2013)	baseada em Arundel e Kemp (2009) e Cheng e Shiu (2012), com variação de 10 pontos, de “nunca = 1” até “sempre = 10”
Mediadora	Ecoinovação de processo	É a introdução de tecnologias que reduzem o uso de material, insumos e riscos durante o processo de produção, e resultam na redução de custos (EIO, 2013)	Constatado por meio da frequência das ecoinovações de processo realizadas pela empresa nos últimos três anos (2014-2016). Mensurado por meio de escala intervalar baseada em Arundel e Kemp (2009) e Cheng e Shiu (2012), com variação de 10 pontos, de “nunca = 1” até “sempre = 10”
Mediadora	Ecoinovação organizacional	É a introdução de métodos de organização e de sistemas de gestão para lidar com as práticas ambientais em produção e produtos (EIO, 2013)	Constatado por meio da frequência das ecoinovações organizacionais realizadas pela empresa nos últimos três anos (2014-2016). Mensurado por meio de escala intervalar baseada em Arundel e Kemp (2009) e Cheng e Shiu (2012), com variação de 10 pontos, de “nunca = 1” até “sempre = 10”
Dependente (endógena)	Desempenho social	É o efeito gerado pela empresa sobre os sistemas sociais em que opera (GRI, 2015)	Constatado por meio de nota para o desempenho das ecoinovações introduzidas no mercado pela empresa nos últimos três anos (2014-2016). Mensurado por meio de escala intervalar baseada em GRI (2015), com variação de 10 pontos, de “nenhuma melhora = 1” até “total melhora = 10”
Dependente (endógena)	Desempenho econômico	É o efeito gerado pela empresa sobre as condições econômicas de suas partes interessadas (<i>stakeholders</i>) e sobre os sistemas econômicos nos níveis local, nacional e global (GRI, 2015)	Constatado por meio da atribuição de nota para o desempenho das ecoinovações introduzidas no mercado pela empresa nos últimos três anos (2014-2016). Mensurado por meio de escala intervalar baseada em Im e Workman (2004), com variação de 10 pontos, de “nenhuma melhora = 1” até “total melhora = 10”
Controle	Porte	É a classificação da empresa	Constatado por meio do porte da empresa.

		segundo a quantidade de pessoal ocupado (IBGE, 2015)	Mensurado por meio de escala ordinal com variação de quatro portes: micro, pequeno, médio e grande. Baseada em IBGE (2015)
Controle	Controle do capital	É a participação no capital social que assegura a maioria dos votos na empresa e que, portanto, possui direitos permanentes de eleger os administradores e de preponderar nas deliberações sociais (IBGE, 2015)	Constatado por meio do controle de capital da empresa. Mensurado por meio de escala nominal com variação de três categorias de controle: brasileiro, brasileiro e estrangeiro, e estrangeiro. Baseada em IBGE (2015)
Controle	Internacionalização da P&D	É o uso de fontes externas de conhecimento, bem como o uso de conhecimentos gerados internamente por outras unidades da mesma empresa (Von Zedtwitz & Gassmann, 2002)	Constatado por meio da prioridade geográfica de P&D da empresa. Mensurado por meio de escala nominal com variação de quatro categorias de internacionalização: P&D no Brasil; P em outros países e D no Brasil; P no Brasil e D em outros países; P&D em outros países. Baseada em Von Zedtwitz e Gassmann (2002)
Controle	ISO 14.001	Define os critérios para certificação de uma empresa ou organização em um sistema de gestão ambiental (SGA). Pode garantir à gestão da empresa e aos funcionários, bem como às partes interessadas externas, que o impacto ambiental está sendo medido e melhorado (ISO, 2015)	Constatado por meio da estratégia sobre o SGA ISO 14.001. Mensurado por meio de escala nominal com variação de quatro estratégias: SGA implantado; SGA em implantação; SGA poderá ser implantado; SGA não será implantado. Baseada em ISO (2015)

Fonte: O Autor

A partir da apresentação do MCE é possível avançar para a descrição dos procedimentos metodológicos do estudo.

3.3 Procedimentos metodológicos

As etapas metodológicas do estudo serão inicialmente apresentadas a partir do método. Em seguida, o universo e a amostra serão definidos. Por fim, as técnicas de coleta, tratamento e análise dos dados serão apresentadas.

3.3.1 Método Quantitativo - *Survey*

O enfoque definido para o estudo foi quantitativo. O método definido para atender o enfoque quantitativo foi o *Survey*. O *Survey* é a obtenção de dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas indicado como representante de uma população alvo (Fink, 1995; Sampieri et al., 2006).

3.3.2 Universo e amostra

O universo, ou população, é o conjunto de indivíduos, animais ou organizações que possuem características comuns para estudo e para o qual se pretende generalizar os resultados da pesquisa com a devida observação das normas da estatística (Sampieri et al., 2006). Neste estudo, o universo é composto por empresas brasileiras do setor econômico secundário com atividades de P&D. Mais especificamente, são indústrias intermediárias - transformadoras de matérias primas em bens de capital, máquinas e equipamentos, que serão usados pelas indústrias de bens de consumo duráveis e não duráveis – e indústrias leves - transformadoras de matérias primas em bens de consumo duráveis. Excluem-se do universo as indústrias de base (pesadas ou extrativas).

Quanto ao porte, as indústrias foram classificadas segundo o número de pessoas empregadas, um critério definido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2015) e utilizado na Pesquisa de Inovação – PINTEC 2014. Quatro classificações de porte foram definidas: micro (0 a 9 empregados), pequeno (10 a 49 empregados), médio (50 a 249 empregados) e grande (mais de 250 empregados). Quanto ao foco de atuação, as indústrias de transformação seguem as divisões 27 e 28 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0 (Tabela 1) (IBGE, 2016a).

Os setores industriais objeto deste estudo foram escolhidos em razão de se destacarem entre os quatro setores industriais com maiores taxas de inovação, o que posiciona as indústrias pesquisadas entre as que mais investem em atividades de P&D no Brasil. Dentre os anos de 2012 e 2014, as indústrias de transformação brasileiras apresentaram uma taxa média de inovação de 36%. No ano de 2014, apresentaram um índice médio da receita líquida de vendas sobre os dispêndios em atividades internas de P&D de 0,68%. Nos mesmos períodos, o setor de fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e periféricos apresentou a maior taxa de inovação entre os setores industriais brasileiros, de 68,2%. Já o setor fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos apresentou a quarta maior taxa

de inovação, de 47,1%. Os setores que apresentaram a segunda e a terceira maiores taxas de inovação foram, respectivamente, de fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos (52,2%) e de produtos químicos (49,6%). Relacionado ao índice da receita líquida de vendas sobre os dispêndios em atividades internas de P&D, o setor de fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e periféricos apresentou um índice de 1,7%. Já o setor fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos apresentou um índice de 1,8% (Tabela 1) (IBGE, 2016b).

Tabela 1 - Taxas de inovação das divisões industriais 27 e 28 no Brasil

Atividades da indústria (Divisão/ Grupo)	Taxa de inovação (2012- 2014) (%)	Dispêndios em atividades internas de P&D (1.000 R\$) (2014)	Incidência sobre a receita líquida de vendas dos dispêndios em atividades internas de P&D (2014) (%)
27 - Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	68,2	1.555.772	1,7
Fabricação de componentes eletrônicos			
Fabricação de equipamentos de informática e periféricos			
Fabricação de equipamentos de comunicação			
Fabricação de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e equipamentos de irradiação			
Fabricação de outros produtos eletrônicos e ópticos			
28 - Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	47,1	1.367.967	1,8
Fabricação de geradores, transformadores e equipamentos para distribuição de energia elétrica			
Fabricação de eletrodomésticos			
Fabricação de pilhas, lâmpadas e outros aparelhos elétricos			

Fonte: IBGE (2016b)

Além das altas taxas de inovação e de investimento em P&D, os setores foram escolhidos em razão de suas representatividades econômicas no Brasil. É possível observar por meio da Figura 12 os diferentes indicadores econômicos das indústrias de transformação das divisões 27 e 28. Nota-se, em especial, que o panorama setorial aponta que todos os indicadores da indústria elétrica e eletrônica estão em queda desde o ano 2013, devido à crise econômica brasileira iniciada no mesmo ano (Figura 12) (Abinee, 2017). Ainda assim o faturamento dos setores representou, em 2016, 2,1% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, correspondente a 9,7% do PIB industrial.

Figura 12 - Desempenho Setorial da Indústria Elétrica e Eletrônica

INDICADORES	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
FATURAMENTO (R\$ bilhões)	111,8	124,4	138,1	144,5	156,7	153,8	142,5	129,4
FATURAMENTO (US\$ bilhões)	56,1	70,7	82,5	73,9	72,6	65,3	42,7	37,2
FATURAMENTO/PIB (%) ⁽¹⁾	3,4	3,2	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,1
FATURAMENTO/PIB INDUSTRIAL (%) ⁽¹⁾	13,1	11,7	11,6	11,5	11,8	11,2	10,7	9,7
PRODUÇÃO FÍSICA (var. ano %) ⁽²⁾	-15,9%	8,5%	-0,4%	-8,3%	4,1%	-4,8%	-21,0%	-11,1%
NÚMERO DE EMPREGADOS (em mil)	259,2	284,9	305,8	308,0	308,6	293,6	248,1	232,8
FATURAMENTO/EMPREGADO (US\$ mil)	216,3	248,2	269,7	240,1	235,2	222,5	172,1	159,6
INVESTIMENTOS EM ATIVO FIXO (porcentagem sobre o faturamento)	2,8	2,9	3,2	2,6	2,7	2,5	2,3	1,8
INVESTIMENTOS EM ATIVO FIXO (R\$ milhões)	3.135	3.560	4.380	3.732	4.168	3.831	3.236	2.381

(1) PIB a preços correntes;
(2) PIM - PF - Pesquisa Industrial Mensal - Produção Física do IBGE/Aggregação ABINEE.
Fontes: IBGE e Banco Central - BACEN

Fonte: Abinee (2017)

Para o cálculo do tamanho da amostra necessária para a pesquisa, o universo foi definido como infinito. O cálculo baseado no universo infinito é justificado em razão da inexistência de dados precisos sobre a quantidade de empresas industriais com foco de atuação nas divisões 27 e 28 da CNAE 2.0 com atividades de P&D. Diante de um universo infinito, Cohen (1988) sugere que um efeito médio, $f^2 = 0,15$, é considerado adequado para as Ciências Sociais. Procedeu-se ao cálculo da amostra não probabilística por meio do teste de Regressão Linear Múltipla, via software G*Power3. Objetivando minimamente explicar o MCE em 13% e considerando um nível de significância $p < 0,01$ (nível de confiança de 99%), a amostra mínima calculada foi de 127 empresas ($n = 127$).

3.3.3 Técnica de coleta dos dados

O instrumento selecionado para a coleta dos dados foi o questionário. O questionário definido como o mais completo para a mensuração dos constructos de introdução deecoinovações foi elaborado por Cheng e Shiu (2012), e é resultado de um estudo específico para validação de um instrumento para mensuração de ecoinovações. As análises de validade e de confiabilidade do instrumento foram corretamente conduzidas *a priori* por Cheng e Shiu (2012). Para a análise da validade de conteúdo, os itens foram inicialmente identificados na literatura. Em seguida foram realizadas 24 entrevistas em profundidade com gerentes seniores, bem como uma sessão de *focus group* com três especialistas acadêmicos em pesquisa de marketing, e quatro gerentes com experiência no desenvolvimento de novos ecoprodutos. Para análise da confiabilidade, três critérios foram adotados: (i) manutenção de constructos com coeficiente alpha de Cronbach acima de 0,7; (ii) exclusão de itens

negativamente correlacionados com outros itens; e (iii) exclusão de itens que tiveram um valor de correlação abaixo de 0,1.

A questão para mensuração da variável independente *cooperação em P&D* foi elaborada considerando estudos de Belderbos et al. (2004) e Eurostat (2012). A questão para mensuração da variável dependente *desempenho socioeconômico* foi elaborada considerando estudos de Im e Workman (2004) e de GRI (2015).

Com base na revisão da literatura, o questionário passou por tradução reversa (*back translation*) e pela melhoria e adaptação das questões ao contexto de pesquisa brasileiro. Realizou-se o refinamento das questões fechadas a partir de três etapas: (1) avaliação de pesquisadores de dois grupos de pesquisa: de Política e Gestão Tecnológica (PGT), do Departamento de Administração da Universidade de São Paulo (FEA-USP), e do *Centre for Industrial Sustainability* (CIS), do Departamento de Engenharia da Universidade de Cambridge; (2) avaliação de especialistas da área deecoinovação; e (3) rodadas de pré-testes com gestores de P&D e/ou produção.

A versão final (Apêndice A) contou com 38 questões divididas em seis blocos. As questões foram elaboradas a partir de escala intervalar de 10 pontos (de 1 a 10). Para o bloco de questões demográficas, foi utilizada escala ordinal. A primeira questão foi do tipo filtro, a fim de que respondentes que não fossem componentes da amostra tivessem o questionário eletrônico finalizado. Em face da validação teórica do instrumento e do refinamento das questões acima detalhadas, assumiu-se que o questionário seguiu os critérios de validade e de confiabilidade requisitados pela literatura e pelos critérios de mensuração estatística, a partir de então coletaram-se os dados.

Para a aplicação do questionário, teve-se acesso a uma lista de 3.156 potenciais empresas respondentes. Após análise da lista, foram excluídas 1901 empresas que eram do setor de serviços em eletroeletrônicos ou que apresentavam baixo conteúdo tecnológico nos produtos fabricados. Foram acessados os websites das 1255 empresas restantes para a busca do contato telefônico. A partir do acesso aos websites, excluíram-se mais 627 empresas descontinuadas, ou que passaram por fusão ou aquisição, ou que não eram do setor de eletroeletrônicos, ou que não possuíam atividades de P&D. A lista final, de 628 empresas, permitiu o início das ligações telefônicas para convidar os diretores de P&D ou de produção para responder a pesquisa. Na impossibilidade desses responderem, foram convidados gerentes de P&D ou de produção. Na impossibilidade desses responderem, foram convidados coordenadores de P&D ou de produção.

Após o contato telefônico, foi enviado via e-mail o link para acessar a pesquisa eletrônica disponível por meio do software QuestionPro®. Um reenvio eletrônico do convite foi realizado após 15 dias do primeiro envio àqueles que não responderam e, ainda, um novo contato telefônico e um novo convite foram realizados após 30 dias àqueles que não responderam.

A aplicação do questionário foi realizada entre março e junho de 2017. Durante a aplicação, alguns respondentes com conhecimentos predominantes em engenharia de produtos indicaram restrição no acesso a informações relacionadas à ecoinovação do processo. Outros, com maiores conhecimentos em engenharia de processo, indicaram, por sua vez, restrição no acesso a informações relacionadas à ecoinovação de produto. A orientação do pesquisador aos respondentes que identificaram as referidas restrições foi de buscar as informações com outros profissionais aptos a responder as questões e então realizar o preenchimento total do questionário. Na impossibilidade de acessar as informações necessárias, considerou-se a desistência do preenchimento do questionário.

Das 628 empresas convidadas, 415 iniciaram e não concluíram a pesquisa, o que gerou 194 valores omissos que foram excluídos da amostra. A amostra final válida foi de 221 respondentes, o correspondente a 174% da amostra mínima calculada *a priori* ($n = 127$). Uma taxa de retorno de 35% foi obtida. O tempo médio para responder o questionário foi de 13,3 minutos, ligeiramente superior ao tempo indicado pelo pré-teste.

O perfil dos respondentes ($n = 221$) pode ser observado por meio do Gráfico 1.

Gráfico 1 – Função do respondente da pesquisa

Fonte: Dados da pesquisa

Envidou-se maior esforço para a participação de profissionais de cargos de gestão na pesquisa, uma vez que se verificou nos pré-testes que eles possuíam maior acesso às informações requisitadas na pesquisa. Os cargos de gestão corresponderam a 88% (194) dos

respondentes e os demais cargos, técnicos, a 12% (13). Mais especificamente, 32% (70) gerentes, seguidos de 23% (51) supervisores/coordenadores, 14% (31) outras funções, 10% (22) sócios proprietários, 9% (20) diretores, 6% (14) pesquisadores, e 6% (13) administrativos (Gráfico 1).

Os respondentes caracterizados em outra função (14%/n=31) indicaram suas funções nas áreas de engenharias: P&D, elétrica, eletrônica, qualidade, produtos, projeto, processos e aplicações. Nota-se em relação aos cargos de gestão que os respondentes possuíam predominantemente formação técnica, notadamente nas áreas das engenharias, o que favoreceu ainda mais a credibilidade dos dados coletados na pesquisa, uma vez que o perfil ideal de respondente para esta pesquisa era justamente o de profissionais de cargos de gestão com formação técnica.

3.3.4 Técnica de tratamento e análise dos dados

Os dados foram tratados e analisados por meio do software SmartPLS® 3. A análise utilizada foi a Modelagem de Equações Estruturais (MEE) (*Structural Equation Modeling – SEM*) com estimação por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares - PLS*) (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2009; Henseler, Ringle, & Sinkovics, 2009; Ringle, Silva, & Bido, 2014; Hair, Hult, Ringle, & Sarstedt, 2014). A técnica de MEE permite examinar as inter-relações em uma série de equações de regressão múltipla. As equações, por sua vez, descrevem simultaneamente as relações entre constructos envolvidos na análise (Hair et al., 2009). A MEE é uma metodologia de análise multivariada de segunda geração, em razão de considerar os erros de mensuração; incorporar variáveis teóricas (não-observáveis) e variáveis empíricas (observáveis) na análise; confrontar a teoria com os dados (teste de hipótese); e combinar teoria e dados (construção da teoria) (Chin, 1998).

Optou-se pela utilização do método PLS-PM em razão dos seguintes critérios: (i) atendimento aos objetivos preditivos do estudo, que se utilizam de requisitos teóricos mais flexíveis em razão da fronteira teórica atualmente existente em relação ao tema em estudo. Possui a característica de auxiliar na construção da teoria; (2) possui abordagem baseada na variância e assim não exige a reprodução da matriz de covariâncias ou de correlações; (3) não necessita que os dados tenham distribuição normal e permite a utilização de escala ordinal, embora tal escala não seja uma característica do presente estudo; (4) as variáveis latentes (constructos) são combinações lineares dos indicadores e os escores fatoriais são estimados explicitamente; (5) pode se utilizar indicadores reflexivos e ou formativos, observando-se que

foram utilizados somente indicadores reflexivos no presente estudo; (6) é mais flexível em relação ao tamanho da amostra, para a qual se recomenda modelagem com 30 a 100 casos; (7) é capaz de lidar com modelagem de alta complexidade, ou seja, até 100 variáveis latentes e 1000 indicadores; (8) é estimado por métodos não paramétricos (Chin & Newsted, 1999; Henseler et al., 2009).

O PLS-PM necessita que um Modelo de Equações Estruturais (MEE), ou diagrama de caminhos, seja desenvolvido. O MEE do presente estudo foi desenvolvido com base no Modelo Conceitual do Estudo (MCE) (Figura 11). A partir do MCE, foi possível desenvolver o MEE, que pode ser verificado por meio da Figura 13.

Figura 13 - Modelo de Equações Estruturais (MEE) do estudo

Fonte: O Autor

O MEE permitiu: (1) estimar relações de dependência múltiplas e inter-relacionadas; (2) representar conceitos não observados nas relações e corrigir erros de mensuração no processo de estimação; e (3) definir um único modelo para explicar o conjunto inteiro de relações. As relações de dependência múltipla foram representadas por meio de constructos (variáveis latentes). Em razão dos constructos do MEE serem conceitos originalmente teorizados e não poderem ser medidos diretamente, foram definidos os indicadores (métricas) para cada constructo. A definição dos indicadores permitiu a coleta dos dados a partir de questões com escalas capazes de mensurar indiretamente os constructos (Hair et al., 2009).

Os constructos, os indicadores utilizados como métrica, e as hipóteses correspondentes do estudo podem ser verificados por meio do Quadro 4.

Quadro 4 - Indicadores e hipóteses associadas aos constructos do estudo

Variável	Indicador	Hipótese associada
Intensidade da cooperação em P&D (<i>coop_p&d</i>)	Cooperação com clientes ou consumidores (<i>consumidores</i>)	<p>H¹: A intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações de produto no mercado</p> <p>H²: A intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações em processos industriais</p> <p>H³: A intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações organizacionais</p>
	Cooperação com fornecedores (<i>fornecedores</i>)	
	Cooperação com concorrentes (<i>concorrentes</i>)	
	Cooperação com consultorias ou laboratórios de testes e ensaios (<i>laboratórios</i>)	
	Cooperação com universidades ou institutos de ciência e tecnologia (<i>universidades/ICTs</i>)	
Introdução de ecoinovações de produto (<i>eco_produto</i>)	Embalagens dos novos produtos desenvolvidos (<i>embalagem</i>)	<p>H⁴: A introdução de ecoinovações de produto está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas</p>
	Construção dos novos produtos desenvolvidos (<i>construção</i>)	
	Reciclagem dos componentes dos novos produtos desenvolvidos (<i>reciclagem</i>)	
	Decomposição dos materiais dos novos produtos desenvolvidos (<i>decomposição</i>)	
	Materiais naturais nos novos produtos desenvolvidos (<i>materiais</i>)	
	Redução dos danos dos resíduos dos novos produtos desenvolvidos (<i>resíduos</i>)	
	Usar o mínimo de energia possível (<i>eficiência</i>)	
	Produtos inspirados na natureza (<i>bioinspiração</i>)	
Introdução de ecoinovações de processos (<i>eco_processo</i>)	Prevenir contaminações do solo, da água e do ar (<i>contaminação</i>)	<p>H⁵: A introdução de ecoinovações de processo está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas</p>
	Atender a legislação ambiental (<i>legislação</i>)	
	Reduzir o uso de recursos (<i>redução</i>)	
	Reciclagem, reutilização e	

	remanufatura de materiais ou componentes (<i>reutilização</i>)	
	Utilização de energia mais limpa ou renovável (<i>energia</i>)	
Introdução de ecoinovações organizacionais (<i>eco_organizacional</i>)	Novos sistemas para gerenciar ecoinovações (<i>gestão</i>)	H⁶: A introdução de ecoinovações organizacionais está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas
	Coleta de informações sobre tendências em ecoinovação (<i>tendências</i>)	
	Desenvolvimento de equipes para coordenação de atividades de ecoinovação (<i>equipes</i>)	
	Comunicação de informações sobre ecoinovação aos colaboradores (<i>informações</i>)	
	Investimento em projetos de P&D em ecoinovação (<i>projetos</i>)	
	Comunicação de experiências entre os vários departamentos envolvidos em ecoinovação (<i>experiências</i>)	
Desempenho socioeconômico (<i>des_socioecon</i>)	Retorno sobre o investimento (<i>roi</i>)	Variável dependente
	Vendas (<i>vendas</i>)	
	Participação de mercado (<i>mercado</i>)	
	Rentabilidade financeira (<i>rentabilidade</i>)	
	Comunidade local (<i>comunidade</i>)	
	Políticas anticorrupção (<i>anticorrupção</i>)	
	Conformidades com as leis (<i>conformidades</i>)	
	Avaliação de fornecedores (<i>avaliação</i>)	

Fonte: O Autor

A partir da escolha do método e definição dos constructos e indicadores de mensuração, foi definido o software SmartPLS® para a modelagem (processamento) dos dados. O software foi escolhido em razão de ser uma aplicação para o desenho de MEE a partir do uso de interface gráfica e em razão dos modelos poderem ser mensurados com o método de análise PLS-PM (Ringle, Wende, & Becker, 2015).

As especificações para a utilização do método PLS-PM e modelagem via SmartPLS® foram devidamente seguidas e nenhuma restrição foi observada, conforme segue: (1) o modelo de caminhos é recursivo, ou seja, não há relação causal recíproca dentro do modelo; (2) toda variável latente (constructo) tem pelo menos um indicador atribuído; (3) os indicadores foram atribuídos apenas uma vez para cada variável latente; e (4) o modelo é composto por apenas uma estrutura, ou seja, não há diferentes modelos não relacionados.

3.4 Limitações metodológicas

Três limitações metodológicas emergiram no estudo:

- A utilização de amostra não aleatória, por conveniência, o que limita a generalização dos resultados para as indústrias respondentes, dos setores de fabricação de produtos elétricos e eletrônicos. Portanto, não é possível generalizar os resultados para o universo de indústrias brasileiras.

- A utilização de medidas (indicadores) de percepção, que podem apresentar resultados diferentes de medidas de observação.

- A precisão das respostas, dado que, em geral, as respostas de um profissional da empresa foram consideradas as respostas da empresa.

Para minimizar tais limitações foi priorizada a aplicação do questionário aos profissionais de cargos de gestão com formação técnica, conforme indicado pelo pré-teste e descrito por meio do Gráfico 1.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Foram realizadas três análises estatísticas dos dados. Primeiro, para análise das questões demográficas, foi utilizada a estatística de frequência relativa. Para as análises univariadas foram utilizadas as estatísticas descritivas de medidas de posição e de variabilidade. Para as análises de equações estruturais foi utilizada a Modelagem de Equações Estruturais com Mínimos Quadrados Parciais (MEE-MQP).

4.1 Análises de frequência relativa

A amostra válida de 221 empresas apresentou uma distribuição relativamente homogênea entre os portes. Por meio do Gráfico 2 se observa que predominaram as empresas médias, com 40% (88) dos respondentes, seguidas pelas pequenas, com 34% (76) e pelas grandes, com 26% (57).

Gráfico 2 - Porte das empresas

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio do Gráfico 3 se observa que a área de atuação predominante das empresas foi de 23% (50) em geradores, transformadores, equipamentos e materiais elétricos, em seguida se destacam 17% (37) em componentes eletroeletrônicos, 11% (24) em equipamentos de medição, testes e controle, 10% (23) em equipamentos de telecomunicação, 9% (20) em outros produtos elétricos e eletrônicos, 7% (16) em informática e periféricos, 7% (15) em aparelhos eletromédicos, 7% (15) em eletrodomésticos, 6% (13) em automação industrial, e 3% (8) em pilhas, lâmpadas e outros aparelhos elétricos.

Gráfico 3 – Áreas de atuação/ fabricação de produtos

Fonte: Dados da pesquisa

O Gráfico 4 indica que a estratégia de P&D predominante é a de P&D no Brasil em 76% (168) das respondentes, seguido pela pesquisa em outros países e desenvolvimento no Brasil em 10% (22), pesquisa no Brasil e desenvolvimento em outros países em 9% (21), e P&D em outros países em 5% (10).

Gráfico 4 - Estratégia de P&D

Fonte: Dados da pesquisa

O Gráfico 5 demonstra que a origem do capital de controle das empresas é predominantemente brasileiro em 78% (172) das empresas, seguido por capital estrangeiro em 13% (30), e por capital brasileiro e estrangeiro em 9% (19).

Gráfico 5 – Origem do capital de controle

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio do Gráfico 6, observa-se que a estratégia predominante sobre o sistema de gestão ambiental (SGA) ISO 14.001 é de que o SGA poderá ser implantado por 56% (124) das empresas, seguido pela estratégia de que não será implantado por 22% (48), de que está implantado em 16% (36), e de que está em implantação em 6% (13) das empresas.

Gráfico 6 - Estratégia sobre SGA ISO 14.001

Fonte: Dados da pesquisa

4.2 Análises univariadas de média e desvio padrão

Para as análises univariadas dos dados, serão apresentadas as estatísticas descritivas de medidas de posição (média) e de variabilidade (desvio padrão). As estatísticas são resultantes de escala intervalar de 10 pontos, de um a dez. Os limites definidos para análise serão os valores menores e maiores em ambas as estatísticas.

Por meio do Gráfico 7 e relacionado às variáveis do constructo *Cooperação em P&D*, observa-se a maior média a partir da variável *consumidores* (7,2) e a menor a partir da

variável *concorrentes* (2,3). O maior desvio padrão em relação à média é observado a partir da variável *universidades/ICTs* (3,2) e o menor a partir da variável *concorrentes* (2,1).

Gráfico 7 – Medidas de posição e de variabilidade das variáveis do constructo *Cooperação em P&D*

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio do Gráfico 8 e relacionado às variáveis do constructo *Ecoinovação Organizacional*, observa-se a maior média a partir da variável *gestão* (5,8) e a menor a partir da variável *equipes* (3,4). Os maiores desvios padrão em relação à média são observados a partir das variáveis *gestão* (3,0), *tendências* (3,0) e *projetos* (3,0), e o menor a partir da variável *equipes* (2,7).

Gráfico 8 – Medidas de posição e de variabilidade das variáveis do constructo *Ecoinovação Organizacional*

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio do Gráfico 9 e relacionado às variáveis do constructo *Ecoinovação de Processo*, observa-se a maior média a partir da variável *redução* (7,2) e a menor a partir da variável *energia* (4,9). O maior desvio padrão em relação à média é observado a partir da variável *contaminação* (3,1) e o menor a partir da variável *redução* (2,6).

Gráfico 9 – Medidas de posição e de variabilidade das variáveis do constructo *Ecoinovação de Processo*

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio do Gráfico 10 e relacionado às variáveis do constructo *Ecoinovação de Produto*, observa-se a maior média a partir da variável *construção* (7,3) e as menores a partir das variáveis *materiais* (3,6) e *bioinspiração* (3,6). Os maiores desvios padrão em relação à média são observados a partir das variáveis *reciclagem* (3,0) e *resíduos* (3,0), e o menor a partir da variável *construção* (2,5).

Gráfico 10 – Medidas de posição e de variabilidade das variáveis do constructo *Ecoinovação de Produto*

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio do Gráfico 11 e relacionado às variáveis do constructo *Desempenho socioeconômico*, observa-se a maior média a partir da variável *conformidades* (5,3) e a menor a partir da variável *anticorrupção* (3,2). O maior desvio padrão em relação à média é observado a partir da variável *conformidades* (3,2) e os menores a partir das variáveis *vendas* (2,8), *rentabilidade* (2,8), *comunidade* (2,8) e *anticorrupção* (2,8).

Gráfico 11 – Medidas de posição e de variabilidade das variáveis do constructo *Desempenho socioeconômico*

Fonte: Dados da pesquisa

4.3 Modelagem de Equações Estruturais (MEE)

Os resultados do modelo de equações estruturais serão apresentados em duas etapas. A primeira será a avaliação do modelo de mensuração (relações entre indicadores e constructos), e a segunda será do modelo estrutural (relações entre os constructos) (Henseler et al., 2009; Hair et al., 2014).

4.3.1 Avaliação do modelo de mensuração

Três testes estatísticos foram realizados para avaliação das variáveis latentes reflexivas do modelo: (i) carga fatorial; (ii) confiabilidade da consistência interna e validade convergente; e (iii) validade discriminante (Henseler et al., 2009; Hair et al., 2014).

4.3.1.1 Carga fatorial

A carga fatorial permite a análise da consistência das variáveis reflexivas (indicadores) e consiste na exposição da carga de cada variável reflexiva (indicador) na composição do modelo. Indicadores com cargas inferiores a 0,40 devem ser excluídos e indicadores com carga entre 0,40 e 0,70 devem passar pela análise do impacto da exclusão sobre os valores da AVE e da Confiabilidade Composta (Henseler et al., 2009, Hair et al., 2014).

No modelo inicial gerado (Apêndice B), quatro variáveis apresentaram cargas inferiores a 0,7: *concorrentes* (0,620), componente do constructo *cooperação em P&D*; *embalagem* (0,643), *construção* (0,654) e *eficiência* (0,698), componentes do constructo *ecoinovação de produto*. Optou-se pela exclusão das variáveis do modelo.

As cargas fatoriais das variáveis do modelo final superiores a 0,7 podem ser observados por meio da Tabela 2. Adicionalmente também podem ser observadas as cargas cruzadas entre as variáveis.

Tabela 2 – Carga fatorial e cargas cruzadas

Variável/constructo	cooperação_ p&d	eco_ organizacional	eco_ processo	eco_ produto	des_ socioecon
Consumidores	0,708	0,353	0,351	0,330	0,257
Fornecedores	0,738	0,369	0,433	0,367	0,298
Laboratórios	0,802	0,460	0,437	0,412	0,396
Universidades/ICTs	0,719	0,393	0,355	0,362	0,386
Equipes	0,448	0,871	0,507	0,633	0,566
Experiências	0,486	0,896	0,620	0,681	0,623
Gestão	0,451	0,767	0,631	0,539	0,533
Informações	0,427	0,906	0,614	0,679	0,639
Projetos	0,501	0,881	0,508	0,616	0,597
Tendências	0,458	0,876	0,609	0,701	0,637
Contaminação	0,430	0,592	0,889	0,581	0,485
Energia	0,473	0,640	0,781	0,701	0,530
Legislação	0,434	0,522	0,871	0,513	0,453
Redução	0,450	0,521	0,840	0,503	0,371
Reutilização	0,458	0,538	0,842	0,574	0,402
Bioinspiração	0,479	0,693	0,562	0,846	0,605
Decomposição	0,405	0,628	0,537	0,877	0,543
Materiais	0,398	0,534	0,528	0,821	0,449
Reciclagem	0,341	0,590	0,609	0,803	0,491
Resíduos	0,441	0,641	0,640	0,839	0,557
ROI	0,441	0,651	0,485	0,547	0,906
Anticorrupção	0,377	0,554	0,452	0,578	0,794
Avaliação	0,357	0,563	0,495	0,541	0,858
Comunidade	0,379	0,590	0,463	0,563	0,811

Conformidades	0,360	0,556	0,469	0,514	0,773
Mercado	0,407	0,633	0,453	0,558	0,909
Rentabilidade	0,397	0,608	0,434	0,543	0,914
Vendas	0,395	0,599	0,437	0,538	0,907

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.1.2 Confiabilidades da consistência interna e da validade convergente

A partir das confiabilidades da consistência interna e da validade convergente serão avaliadas três estatísticas:

(i) Confiabilidade alpha de Cronbach (α): é o indicador de confiança interna mais notável e estima indiretamente o grau de confiança em que o conjunto de indicadores mede uma variável latente (VL) única. Valores de α iguais ou acima de 0,7 são desejáveis (Hair et al., 2014).

(ii) Variância extraída (*Average Variance Extracted* - AVE): objetiva auferir a proporção da variância da dimensão explicada a partir das variáveis que a compõem. Para que a dimensão seja válida, são aceitos valores acima de 0,5 (Fornel & Larcker, 1981; Hair et al., 2014).

(iii) Confiabilidade Composta (*Composite Reliability*): objetiva auferir o grau de confiança de cada variável na construção da dimensão a qual pertence. Para que a dimensão tenha grau de confiança aceitável, são desejáveis valores acima de 0,7 (Fornel & Larcker, 1981; Hair et al., 2014).

Por meio da Tabela 3 é possível verificar que os valores de alpha de Cronbach são superiores a 0,7; da Confiabilidade Composta são superiores a 0,7, e da AVE são superiores a 0,5. Tais resultados validam as variáveis latentes para a composição do modelo.

Tabela 3 - Confiabilidade da consistência interna e validade convergente

Constructo	Alpha de Cronbach	Confiabilidade Composta	AVE
cooperação_p&d	0,729	0,831	0,551
eco_organizacional	0,933	0,948	0,752
eco_processo	0,900	0,926	0,715
eco_produto	0,894	0,922	0,702
des_socioecon	0,949	0,958	0,741

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.1.3 Validade discriminante

A validade discriminante busca evidenciar se um constructo é verdadeiramente distinto dentre os demais constructos do modelo. Duas medidas de avaliação são utilizadas: (i) Cargas cruzadas dos indicadores. Evidencia se a carga compartilhada com o constructo ao qual o indicador está associado é maior do que as cargas associadas a outros constructos; e (ii) Critério Fornell-Larcker. Evidencia se a raiz quadrada da variância extraída de cada constructo é maior do que as correlações com os demais constructos. Se ambos os casos forem positivamente verificados então há validade discriminante do modelo (Fornell & Larcker, 1981; Hair et al., 2014).

Por meio da Tabela 2 se avaliou as cargas cruzadas dos indicadores. Observou-se que a maior carga compartilhada de cada indicador é com os respectivos constructos aos quais estão associados. Tais resultados fornecem um primeiro indicativo de validade discriminante dos constructos. Para o Critério Fornell-Larcker se verificou por meio da Tabela 4 que os constructos apresentam valores da raiz quadrada da AVE superiores às suas correlações com qualquer outro constructo, o que indica validade discriminante dos constructos.

Tabela 4 - Validade discriminante das variáveis reflexivas

Constructo	AVE	Raiz Quadrada da AVE	Coeficiente de correlação				
			cooperação_p&d	eco_organizacional	eco_processo	eco_produto	des_socioecon
cooperação_p&d	0,551	0,743	1	-	-	-	-
eco_organizacional	0,752	0,867	0,533	1	-	-	-
eco_processo	0,715	0,845	0,533	0,670	1	-	-
eco_produto	0,702	0,838	0,497	0,742	0,687	1	-
des_socioecon	0,741	0,861	0,453	0,692	0,536	0,637	1

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.2 Avaliação do modelo estrutural

A avaliação do modelo estrutural consiste na apresentação de quatro estatísticas para comprovar as relações entre os constructos e a validade do modelo, sendo: (i) análise de multicolinearidade; (ii) coeficientes de caminho do modelo estrutural; (iii) coeficientes de determinação; (iv) efeito f^2 ; e (v) relevância preditiva Q^2 .

4.3.2.1 Análise de multicolinearidade

A análise de multicolinearidade foi realizada por meio do Variance Inflation Factor (VIF). Valores de VIF inferiores a 5,00 são considerados aceitáveis e não indicam a existência de multicolinearidade, o que sugere a manutenção dos constructos do modelo (Hair et al., 2014).

Por meio da Tabela 4 se observa que todas as relações apresentam valores de VIF inferiores a 5,00, o que não indica a existência de multicolinearidade e valida os constructos para a composição do modelo.

Tabela 5 – Valores do Variance Inflation Factor (VIF)

Constructo	eco_organizacional	eco_processo	eco_produto
cooperacao_p&d	1,000	1,000	1,000
des_socioecon	2,495	2,123	2,599

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.2.2 Coeficientes de caminho do modelo estrutural

Os coeficientes de caminho (β) representam as relações hipotetizadas entre os constructos do modelo. Possuem valores estandardizados entre -1 e +1. Valores próximos a +1 representam forte relação positiva, e vice versa para valores negativos. Em geral, coeficientes com valores acima de 0,20 são considerados significativos, o que sugere a manutenção da relação entre os constructos. Por outro lado, coeficientes abaixo de 0,20 são considerados pouco significativos, o que sugere a retirada da relação entre os constructos (Hair et al., 2014).

Por meio da análise geral de coeficientes de caminho (Apêndice C) se observou que cinco relações apresentaram resultado de β inferior a 0,20: *eco_processo* => *des_socioecon* (0,042); *internacionalização* => *coop_p&d* (0,009); *isol4001* => *coop_p&d* (-0,239); *porte* => *des_socioecon* (0,087); e *capital* => *des_socioecon* (-0,020). Em razão de não serem significativas, optou-se pela exclusão das relações, o que demandou o teste de um novo modelo. O novo modelo (Figura 14) apresentou coeficientes de caminho acima de 0,20, demonstrando que as relações mantidas são significantes. Contudo, a significância final das relações depende de uma segunda análise, do *erro padrão*, que pode ser obtida por meio do teste *t de student* e da técnica de *Bootstrapping*.

Figura 14 – Coeficientes de caminho

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio da técnica de *Bootstrapping* os dados originais foram reprocessados 1000 vezes, a fim de estimar a significância dos caminhos a partir dos coeficientes originais + o *erro padrão* de cada caminho. Definiu-se um nível mínimo de confiança de 99% ($\alpha =$ ou $< 0,01$), ou seja, uma probabilidade de erro igual ou inferior a 1%, objetivando obterem-se valores de t superiores a 2,57 (Hair et al., 2014). Os valores de t para os coeficientes de caminhos (Figura 15) entre as variáveis apresentam valores superiores a 2,57. Tais resultados demonstram, portanto, que, em última instância, os coeficientes apresentam relações válidas para a composição do modelo.

Figura 15 - Teste t de student

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.2.3 Coeficientes de determinação

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida da acurácia preditiva do modelo. Representa os efeitos combinados das variáveis latentes exógenas sobre as variáveis latentes endógenas. É calculado como a correlação quadrada entre os valores reais e preditos de um constructo endógeno específico. Resultados acima de 0,75, 0,50 e 0,25 são considerados, respectivamente, substancial, moderado e fraco (Henseler et al., 2009; Hair et al., 2014).

Os coeficientes de determinação (R^2) podem ser observados por meio da Figura 16. O principal coeficiente, da variável dependente *des_socioecon*, apresenta resultado substancial de $R^2 = 0,513$. Indica que ecoinovação de produto e ecoinovação organizacional explicam o desempenho socioeconômico de empresas em 51,3%. Também se observa os seguintes resultados para os coeficientes de determinação das variáveis mediadoras: *eco_produto* (0,247): fraco. Indica que cooperação em P&D explica ecoinovação de produto em 24,7%; *eco_processo* (0,284): moderado. Indica que cooperação em P&D explica ecoinovação de processo em 28,4%; e, *eco_organizacional* (0,284): moderado. Indica que cooperação em P&D explica ecoinovação organizacional em 28,4%.

Tais resultados permitem considerar que os coeficientes de determinação são adequados para a validação final do modelo.

Figura 16 – Coeficientes de determinação do modelo

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.2.4 Efeito f^2

Adicionalmente ao cálculo do R^2 , foi realizado o teste f^2 , que permite avaliar a mudança no valor de R^2 de uma variável endógena quando um constructo exógeno é omitido do modelo. Valores de 0,02, 0,15, e 0,35 indicam, respectivamente, efeitos fraco, médio e forte do constructo exógeno sobre o endógeno (Cohen, 1988).

A avaliação da mudança no valor de R^2 do constructo *desempenho socioeconômico* foi calculada por meio de duas estimações do modelo de caminhos PLS, a primeira omitindo o constructo *ecoinovação organizacional* e, a segunda omitindo o constructo *ecoinovação de produto* do modelo.

Observa-se por meio da Tabela 6 que a omissão do constructo *ecoinovação organizacional* teve um efeito médio ($f^2 = 0,218$) sobre o R^2 do constructo *desempenho socioeconômico*. Já a omissão do constructo *ecoinovação de produto* teve um efeito fraco ($f^2 = 0,070$) sobre o R^2 do constructo *desempenho socioeconômico*. Os resultados demonstram que *ecoinovação organizacional* exerce maior influência que o constructo *ecoinovação de produto* na composição do modelo.

Tabela 6 – Valores tamanho do efeito f^2

Constructo omitido	R^2 incluído	R^2 excluído	f^2	efeito
eco_organizacional	0,513	0,407	0,218	médio
eco_produto		0,479	0,070	fraco

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.2.5 Relevância preditiva Q^2

Também adicionalmente ao cálculo do R^2 , foi possível avaliar a relevância preditiva do modelo por meio do valor Q^2 . Para o cálculo foi utilizado procedimento *blindfolding* com distância de omissão (D) dos dados igual a 10 ($D = 10$). Trata-se de uma técnica de reuso de amostra que omite os dados dos indicadores de cada constructo e utiliza as estimativas do modelo (dados remanescentes dos demais constructos) para predizer os dados omissos do respectivo constructo. Valores superiores a zero (positivos) indicam que o constructo apresenta relevância preditiva no modelo de caminhos (Hair et. at., 2014).

Observa-se por meio da Tabela 7 que todos os constructos apresentaram valores de Q^2 superiores a zero, o que indicou a relevância preditiva satisfatória do modelo.

Tabela 7 – Valores do Q²

Constructo	Q ²
cooperacao_p&d	-
des_socioecon	0,364
eco_organizacional	0,204
eco_processo	0,193
eco_produto	0,163

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.3 Verificação das hipóteses de pesquisa

Finalizadas as avaliações do modelo de mensuração (relações entre indicadores e constructos) e do modelo estrutural (relações entre os constructos), é possível avançar para os testes de validação nomológica das hipóteses da pesquisa. Optou-se por realizar o teste das hipóteses a partir dos critérios *p-value* e coeficiente de caminho. Para o *p-value* foi definido um nível mínimo de confiança de 99% ($\alpha = \text{ou} < 0,01$). Para os coeficientes de caminho foram definidos valores superiores a 0,20 (Figura 4). Adicionalmente aos coeficientes de caminho serão apresentados os valores do teste *t* de *student*, embora ambos conduzam à mesma conclusão (Hair et al., 2014).

Por meio da Tabela 8 são apresentados os testes para confirmação ou não confirmação das hipóteses da pesquisa.

Tabela 8 – Teste das hipóteses da pesquisa

Hipótese	<i>p-value</i> ($\alpha = < 0,01$)	Coeficiente de caminho (teste <i>t</i>)	Situação
H ¹ : A intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações de produto no mercado	0,000	0,497 > 0,20 (9,468 > 2,57)	Confirmada
H ² : A intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações em processos industriais	0,000	0,533 > 0,20 (10,486 > 2,57)	Confirmada
H ³ : A intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações organizacionais	0,000	0,533 > 0,20 (10,424 > 2,57)	Confirmada
H ⁴ : A introdução de ecoinovações de produto está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas	0,001	0,274 > 0,20 (3,446 > 2,57)	Confirmada

H⁵: A introdução de ecoinovações de processo está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas	0,516	0,042<0,20 (0,117<2,57)	Não confirmada
H⁶: A introdução de ecoinovações organizacionais está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas	0,000	0,489>0,20 (6,613>2,57)	Confirmada

Fonte: O Autor e dados da pesquisa

Em face dos testes apresentados acima, observa-se que a hipótese H⁵ não foi confirmada. As demais hipóteses, H¹, H², H³, H⁴ e H⁶ foram validadas ao nível de confiança de 99%, sendo assim possível avançar para as conclusões da pesquisa.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a discussão dos resultados serão retomadas a questão geral, os objetivos e as hipóteses do estudo. Em seguida serão avaliados os constructos e seus respectivos indicadores, para então serem avaliadas as contribuições com maior grau de originalidade deste estudo, das relações hipotetizadas entre os constructos do Modelo Conceitual do Estudo (MCE).

O problema de pesquisa identificado na teoria é representado por meio da seguinte questão: *Em que medida a cooperação em P&D, mediada pela introdução de ecoinovações, influencia o desempenho socioeconômico de empresas?* Em atendimento à questão de pesquisa foi elaborado um MCE, em que a cooperação em P&D é a variável independente, ecoinovação de produto, ecoinovação de processo e ecoinovação organizacional são as variáveis mediadoras, e desempenho socioeconômico é a variável dependente do modelo.

A técnica de Modelagem de Equações Estruturais (MEE) definida para as análises estatísticas do estudo permitiu testar essas relações simultaneamente. Chegou-se à seguinte resposta para a questão de pesquisa: a cooperação em P&D, mediada pela introdução de ecoinovações, influencia o desempenho socioeconômico de empresas em 51,3%, indicando uma validação satisfatória do modelo conceitual do estudo proposto.

O MCE permitiu que outras relações também fossem testadas entre os constructos componentes do modelo. Tais testes foram uma das principais vantagens da MEE utilizada neste estudo - trata-se da avaliação do modelo estrutural. Para tal avaliação foram definidos dois objetivos e seis hipóteses de pesquisa em apoio à questão principal e em atendimento ao método científico.

O primeiro objetivo foi de “*verificar a influência da cooperação em P&D sobre a introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais*”. Seguindo a lógica do MCE, o primeiro objetivo é inicialmente embasado a partir da variável independente *cooperação em P&D* e de seus respectivos indicadores reflexivos. Em seguida será possível avaliar as relações hipotetizadas entre a cooperação em P&D e as respectivas variáveis mediadoras, ecoinovação de produto, ecoinovação de processo e ecoinovação organizacional.

A cooperação em P&D foi investigada entre os anos de 2014 e 2016 como uma prática do paradigma da inovação aberta. É possível depreender enquanto resultado do estudo que, pelo menos dentro do triênio investigado, a cooperação foi sistêmica, ou seja, aconteceu de forma aberta, com os diferentes parceiros tecnológicos em algum momento do período

pesquisado. Contudo, não é possível assumir que tais relações foram simultâneas, ou seja, que aconteceram ao mesmo tempo com os diferentes parceiros tecnológicos.

Das quatro direções da cadeia de valor propostas para a composição do constructo *cooperação em P&D*, três foram validadas, demonstrando que as empresas pesquisadas cooperam em P&D nas relações à montante (*upstream*), à jusante (*downstream*) e, paralelamente, em ciência e tecnologia. Já a relação baseada em mercado, que considera empresas que competem no mesmo setor, não foi satisfatoriamente validada, o que demandou a exclusão do indicador cooperação em P&D com concorrentes do constructo.

Além da direcionalidade da cooperação, este estudo parte da premissa que um processo de desenvolvimento tecnológico usualmente possui seis etapas: (i) ideiação e conceito, (ii) desenvolvimento, (iii) testes e ensaios (prototipagem), (iv) testes de campo, (v) lançamento e (vi) revisão e modificação. A cooperação pode acontecer em qualquer uma das referidas fases, e depende da sinergia técnica que a empresa precisa desenvolver em cada fase do projeto de inovação.

A compreensão de tais etapas é importante para avaliar a priorização da cooperação em P&D das fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos investigadas. A relação de maior importância para a composição do constructo *cooperação em P&D* foi em ciência e tecnologia, de cooperação com consultorias técnicas e laboratórios de testes e ensaios, o que sugere a priorização de relações tecnológicas e científicas na fase intermediária da inovação. Essa fase é conhecida como P&D pré-competitivo. A segunda relação que mais se destacou foi com fornecedores, à montante da cadeia de valor, demonstrando a importância da sinergia para o atendimento dos complexos requisitos técnicos inerentes a produtos elétricos e eletrônicos. A terceira relação que se destacou foi em ciência e tecnologia, com universidades e ICTs, novamente sugerindo uma possível priorização da cooperação nas fases intermediárias da inovação, do desenvolvimento e/ou de testes e ensaios (prototipagem). A relação também demonstra que empresas investigadas estão conseguindo superar as conhecidas barreiras da cooperação com universidades e ICTs, notadamente relacionadas a ainda limitada cultura de cooperação entre esses agentes no Brasil e às notáveis, porém pouco profícuas, discussões sobre a propriedade industrial (PI) dos possíveis conhecimentos gerados via cooperação. Já a relação que menos se destacou para a formação do constructo cooperação em P&D foi com clientes e consumidores. Não menos importante para o desenvolvimento tecnológico, tal relação demonstra que as empresas pesquisadas lançam mão do emergente e competitivo conceito da cocriação, o qual pode ser realizado tanto nas fases iniciais da inovação, de ideiação e conceito, quanto nas fases finais, de testes de campo, lançamento,

revisão e modificação do produto. Os estudos de Tether (2002) e De Marchi (2012) validam os resultados acima, contudo, não apresentam a mesma ordem de importância das relações, sugerindo que as prioridades na cooperação em P&D são definidas de acordo com a complexidade tecnológica enfrentada em cada setor econômico, conforme destacado por Tigre (2014).

Por fim, quanto à relação baseada em mercado, que considera empresas que competem no mesmo setor, observa-se que não houve carga fatorial satisfatória para a composição do constructo cooperação em P&D, e assim foi excluída do modelo. Tal resultado é diferente daqueles dos estudos de Tether (2002) e Belderbos et al. (2004), nos quais a cooperação com concorrentes foi validada. Percebe-se que as empresas pesquisadas possuem restrições quanto à formação de vínculos de conhecimento com suas rivais. Dentre as prováveis razões estão a própria cultura de não cooperação, a proteção de segredos industriais e a propriedade intelectual. A proteção de conhecimentos é sabidamente ponto nevrálgico para produtos elétricos e eletrônicos, uma vez que sua velocidade da inovação tecnológica é fator mercadológico determinante para manutenção e aumento de vendas. Note-se, contudo, que o conceito de coopeção, que envolve cooperação e competição simultaneamente, é um diferencial competitivo emergente, uma vez que a lógica da competição mundial tem migrado da competição entre empresas para a competição entre cadeias de valor. O conceito é, contudo, mais relativo e menos absoluto, ou seja, geralmente é adotado a partir de uma estratégia de cooperação situacional. Dependendo da fase do desenvolvimento tecnológico, a estratégia ora sugere a cooperação, ora mantém a competição. Dentre os possíveis ganhos no formato de cooperação com concorrentes estão a diminuição ou eliminação de investimentos financeiros na P&D, a exemplo da duplicidade de investimentos em infraestrutura de pesquisa e em pessoal, além da escalabilidade em produção, distribuição e logística reversa. Tais ganhos poderiam, por sua vez, ser direcionados para a competitividade de outras atividades: ambientais, sociais e econômicas. Contudo, cabe às empresas superar o paradigma da aversão à sinergia tecnológica com concorrentes e avaliar tal oportunidade de cooperação.

Além das variáveis reflexivas acima descritas foram definidas duas variáveis de controle do constructo cooperação em P&D, a fim de garantir que fenômenos ocasionais não previstos estivessem explicando o constructo e interferindo nos resultados do estudo. Conforme definições de Zedtwitz e Gassmann (2002) e de ISO (2015), foram respectivamente definidas as variáveis de controle *internacionalização da P&D* e adoção do sistema de gestão ambiental *ISO 14.001*. Nenhuma das variáveis teve a capacidade de explicar o constructo cooperação em P&D e foram, portanto, excluídas do modelo testado. A literatura indicou que

uma das principais razões para a cooperação em P&D com parceiros tecnológicos é a resolução de problemas técnicos. Caso a internacionalização da P&D fosse validada, então uma evidência complementar à resolução de problemas técnicos explicaria a cooperação em P&D, o que não foi o caso neste estudo. Quanto à ISO 14.001, preocupou-se em verificar se a cooperação em P&D era explicada *a priori* por um sistema de gestão ambiental com atributos de ecoinovações. Caso fosse explicada *a priori* então emergiria um viés de pesquisa *a posteriori*, ou seja, cooperação em P&D influenciaria a introdução de ecoinovações justamente por que as ecoinovações influenciam a cooperação em P&D, o que não foi comprovado neste estudo.

Analizada a variável independente *cooperação em P&D* é possível seguir para a avaliação de suas relações com as variáveis mediadoras do estudo. Para tanto, novamente é retomado o primeiro objetivo do estudo, de “*verificar a influência da cooperação em P&D sobre a introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais*”. As três relações (caminhos) entre a variável dependente e as variáveis mediadoras foram hipotetizadas, testadas e satisfatoriamente comprovadas, conforme segue:

- A comprovação de H^1 demonstrou que a intensidade da cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações de produto no mercado, sendo uma relação satisfatoriamente explicada em 24,7%.
- A comprovação de H^2 demonstrou que a intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações em processos industriais, sendo uma relação satisfatoriamente explicada em 28,4%.
- A comprovação de H^3 demonstrou que a intensidade de cooperação em P&D com parceiros tecnológicos está positivamente associada à introdução de ecoinovações organizacionais, sendo uma relação satisfatoriamente explicada em 28,4%.

Cooperação em P&D exerceu tanto influência positiva sobre as atividades internas de ecoinovação, organizacionais e de processos, quanto sobre as atividades externas, relacionadas à introdução de ecoprodutos no mercado. As relações que mais se destacaram foram entre cooperação em P&D e ecoinovação organizacional, e entre cooperação em P&D e ecoinovação de processo; por fim, se destacou a relação entre cooperação em P&D e ecoinovação de produto. Alinhados ao estudo de De Marchi (2012), tais resultados confirmam

que inovações ambientais implicam maiores interdependências com parceiros externos, por causa de suas características complexas.

O constructo ecoinovação organizacional teve todos os seus respectivos indicadores validados. As empresas tomaram as decisões estratégicas de (i) usar novos sistemas para gerenciar ecoinovações, a exemplo das certificações, da gestão da cadeia de suprimentos, da produção enxuta e da gestão da qualidade; (ii) desenvolver equipes para coordenação de atividades de ecoinovação; (iii) coletar informações sobre tendências em ecoinovação; (iv) comunicar informações sobre ecoinovação aos colaboradores; (v) comunicar experiências entre os vários departamentos envolvidos em ecoinovação; e (vi) investir em projetos de P&D em ecoinovação. Os resultados acima confirmam achados de estudos de Shrivastava (1995), Rennings (2000), Frondel et al. (2003), e OECD (2009), Cheng & Shiu (2012), os quais indicaram que ecoinovação tem se expandido de uma abordagem tecnológica para não tecnológica, de orientação de gestão. Tais estudos também indicaram que ecoinovação organizacional precede as ecoinovações tecnológicas de processos e produtos. Portanto, depreende-se dos resultados que, ao realizar ecoinovações organizacionais, as fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos podem criar um adequado ambiente organizacional para o aprendizado, a educação e a geração de novas ideias, que são, por sua vez, a base para as ecoinovações tecnológicas.

Quanto ao constructo ecoinovação de processo, também houve a validação de todos os seus indicadores no estudo. Em ordem de percepção de importância, as empresas pesquisadas melhoraram processos de produção para (i) prevenir contaminações do solo, da água e do ar; (ii) atender a legislação ambiental quanto às emissões de CO₂ e geração de resíduos e de ruídos; (iii) reduzir o uso de recursos, tais como matéria-prima, água e eletricidade; (iv) reciclagem, reutilização e remanufatura de materiais ou componentes; e (v) utilização de energia mais limpa ou renovável. É notável o esforço das fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos na produção mais limpa (P+L), uma vez que todos os indicadores do constructo ecoinovação de processo foram satisfatoriamente validados. Tais resultados estão em linha com os estudos de Cheng e Shiu (2012) e de Brasil et al. (2016).

As empresas perceberam que a introdução de tecnologias mais limpas pode culminar na redução dos custos e no aumento da competitividade. Do contrário seria pouco provável a introdução das mesmas. Note-se a importância de um setor com tamanho impacto na extração de recursos naturais estarem atentos aos 3Rs (reduzir, reusar e reciclar), à legislação e ao uso de energia limpa. É, de fato, a cooperação em P&D uma robusta estratégia tecnológica para apoio à introdução de ecoinovações de processo, conforme indicado pela literatura precedente

(Hemmelkamp, 1999; Kemp & Pearson, 2007; Horbach, 2008; De Marchi, 2012; Cainelli & Mazzanti, 2013; De Giorgi et al., 2015; Souto & Rodriguez, 2015; Martens et al., 2016).

Quanto ao constructo ecoinovação de produto, houve a validação da maior parte de seus indicadores no estudo. Em ordem de importância, as empresas percebem cinco atributos ecológicos em seus produtos, de: (i) enfatizar a decomposição dos materiais dos novos produtos desenvolvidos; (ii) desenvolver novos produtos inspirados na natureza; (iii) enfatizar a redução dos danos dos resíduos dos novos produtos desenvolvidos; (iv) utilizar materiais naturais nos novos produtos desenvolvidos; e (v) enfatizar a reciclagem dos componentes dos novos produtos desenvolvidos. Embora nem todos os indicadores tenham sido validados, tais resultados estão em linha com os estudos de Cheng e Shiu (2012) e de Brasil et al. (2016) que realizam similar esforço de mensuração.

Note-se a importância dos cinco atributos de ecoinovação de produto validados, uma vez que são princípios do ecodesign e demonstram a preocupação das empresas para a redução dos impactos sobre o meio ambiente. Enquanto resultado, é esperado que tais atributos ecológicos diminuam tanto os impactos sobre o meio ambiente quanto sobre os custos das empresas, o que torna os produtos competitivos e aumenta a predileção dos clientes e consumidores por esses produtos ecoinovadores. Mais especificamente e a exemplo da ecoinovação de processos, as ecoinovações de produtos estão levando em conta a limitação dos recursos naturais ao adotar estratégias de recuperação via logística reversa (reciclagem) do produto. Tais resultados novamente reforçam a importância da cooperação em P&D para que empresas alcancem os requisitos tecnológicos de ecoinovação de produto e diminuam sua “pegada ambiental”, uma importante contribuição para estudos anteriores (Hemmelkamp, 1999; Kemp & Pearson, 2007; Horbach, 2008; De Marchi, 2012; Cainelli & Mazzanti, 2013; De Giorgi et al., 2015; Souto & Rodriguez, 2015; Martens et al., 2016).

Também se destaca outra consideração das empresas para com a natureza, uma vez que utilizam materiais naturais nos produtos, enfatizam a decomposição desses materiais e, por fim, desenvolvem seus produtos a partir da observação da vencedora experiência da natureza, a biomimética. A biomimética foi um novo indicador de ecoinovação proposto e validado por este estudo. Foi, inclusive, o segundo indicador mais representativo para a composição do constructo ecoinovação de produto. As comparações da vida natural com as ecoinovações de produto são muito mais relativas do que absolutas. Trata-se de um dos caminhos de inspiração para a inovação, dentre tantos existentes. De toda forma é um caminho emergente para o desenvolvimento sustentável de produtos.

Diante do exposto, este estudo sugere que as Ciências Sociais Aplicadas e as Ciências Exatas, da Administração e das Engenharias, respectivamente, também podem desenvolver teorias baseadas na imitação da natureza, ou na biomimética. Tais resultados complementam estudos de inovações baseadas na natureza, de Benyus (2011) e de Pauw (2015), além de estudos específicos nas áreas de novos materiais (Studart, 2012), química, têxtil e automobilística (Solga et al., 2007), computação (Nakrani & Tovey, 2004), sensores, bioenergia, mobilidade e transportes (Lurie-Luke, 2014), planejamento e design de infraestrutura urbana (Buck, 2015).

Apesar dos avanços relacionados aos atributos ecológicos, acima percebidos pelas empresas em seus produtos, três atributos componentes do constructo ecoinovação de produto foram excluídos do modelo por não serem validados estatisticamente, são eles: a simplificação das embalagens dos novos produtos desenvolvidos, a simplificação da construção dos novos produtos desenvolvidos e a eficiência energética dos produtos.

Note-se que os atributos não validados tendem a demonstrar certo nível de atraso tecnológico dos produtos elétricos e eletrônicos das empresas investigadas, um sério problema que nem a cooperação em P&D foi capaz, ainda, de auxiliá-las a resolver. A simplificação da construção dos novos produtos desenvolvidos é um atributo direta ou indiretamente relacionado à modernização do parque produtivo. Sabe-se que a modernização de um parque produtivo pode demorar muitos anos e depende de quão arrojada é a estratégia industrial e de quão presa (*lock-in tecnológico*) a indústria está a tecnologias obsoletas. Modernização está ligada a investimentos para a troca de máquinas e equipamentos, muitas vezes importados, além de treinamento de pessoal. Por um lado tal atraso é até compreensível, uma vez que ecoinovação é um paradigma relativamente recente e há um tempo para adaptação da indústria. Ademais, trata-se de um conjunto de requisitos técnicos que nem sempre estão disponíveis a partir da base de conhecimento tradicional possuída pela indústria, o que está alinhado aos estudos de Cainelli & Mazzanti (2013) e De Giorgi et al. (2015). Entretanto, o atraso tecnológico na simplificação da construção dos novos produtos pode estar influenciando negativamente os demais atributos não validados, da simplificação das embalagens e da eficiência energética. Simplificações da construção e da embalagem são dois atributos ecológicos básicos para um produto ser considerado ecoinovador. Há nesse sentido um notável atraso técnico sendo sinalizado para as indústrias, tanto relacionado aos parques produtivos ineficientes e obsoletos, que tendem a gerar perdas econômicas e baixa competitividade em geral, quanto para a perda da competitividade dos produtos em si, uma vez

que é o mercado quem demanda há tempos por produtos energeticamente eficientes e com embalagens simples.

Uma vez atingido o primeiro objetivo, avançou-se para o segundo objetivo desta pesquisa, de “*verificar a influência da introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais, sobre o desempenho socioeconômico de empresas*”. Ainda seguindo a lógica do MCE, o segundo objetivo é inicialmente embasado a partir da variável dependente *desempenho socioeconômico* e de seus respectivos indicadores reflexivos. Em seguida então é possível avaliar as relações hipotetizadas entre o desempenho socioeconômico e as respectivas variáveis mediadoras, *ecoinovação de produto, ecoinovação de processo e ecoinovação organizacional*.

Investigar o desempenho social, juntamente com o econômico, é um ajuste científico e uma das contribuições originais mais importantes realizadas por este estudo. Por tudo o que já se falou anteriormente, sabe-se que o lucro é uma referência limitada do sucesso de uma empresa. Por essa razão, este estudo se preocupou com a mensuração do desempenho ambiental, via introdução de ecoinovações, e com a mensuração do desempenho social, ao lado do econômico.

Foram propostos e validados oito indicadores para a composição do constructo *desempenho socioeconômico*, quatro relacionados ao desempenho social e quatro relacionados ao desempenho econômico. Em ordem de percepção de importância, os indicadores de desempenho social demonstraram que as ecoinovações, precedidas pela cooperação em P&D, melhoraram: (i) a avaliação de fornecedores quanto aos impactos sobre a sociedade; (ii) o envolvimento com a comunidade local; (iii) as políticas anticorrupção e anticompetitivas; e (iv) as conformidades (*compliance*) com as leis e regulamentos. Tais resultados de mensuração complementam o estudo de GRI (2015), que se esforça em definir indicadores de mensuração para o desempenho social.

As melhorias observadas no desempenho social das fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos pesquisadas demonstraram que essas empresas estão colhendo os frutos de seus esforços em ecoinovação. São percebidos pelas empresas efeitos sociais positivos das ecoinovações sobre os sistemas sociais nos quais estão inseridas. São resultados notáveis, pois envolvem importantes stakeholders dessas indústrias. Na medida em que são avaliados quanto aos impactos sobre a sociedade, os fornecedores têm seu desempenho social impulsionado, e isso gera um importante efeito em cadeia. Ao envolver a comunidade local em projetos sociais, as indústrias agem rumo ao fundamental cuidado com os entornos de seus parques produtivos. Ao definir políticas anticorrupção e anticompetitivas, as indústrias reafirmam suas

posições morais e éticas perante seu público interno e externo, e ao seguir as conformidades com as leis e regulamentos, as indústrias comprovam sua responsabilidade corporativa perante o governo e a sociedade. Tais resultados inevitavelmente influenciam ganhos em imagem “verde” e reputação perante o mercado, notadamente clientes e consumidores, conforme já destacavam Shrivastava (1995), Klassen e Whybar (1999) e Horbach et al. (2012).

Já os indicadores de desempenho econômico, em ordem de percepção de importância, demonstraram que as ecoinovações, precedidas pela cooperação em P&D, melhoraram: (i) a rentabilidade financeira; (ii) as vendas; (iii) a participação de mercado (market share); e (iv) o retorno sobre o investimento (ROI). Tais resultados estão alinhados aos estudos de Cheng e Shiu (2012) e de Brasil et al. (2016), que fizeram esforço similar de mensuração dos mesmos indicadores validados neste estudo, bem como da mensuração da relação entre ecoinovação e desempenho econômico. Outras contribuições deste estudo em desempenho econômico, e também financeiro, acrescentam conhecimentos aos estudos de Russo e Fouts (1997), Arragón-Correa (1998), Klassen e Whybar (1999), Im e Workman (2004), Pujari (2006), Lee e Min (2015).

Salienta-se que a caracterização dos indicadores acima foi simplificada como *desempenho econômico*, porém, é possível considerar que rentabilidade financeira e ROI também são indicadores de desempenho financeiro da empresa, uma vez que estão relacionados ao lucro (Gitman, 2012). Assim, os resultados indicam que ao investirem em ecoinovações, as empresas investigadas tanto melhoraram seus resultados econômicos quanto financeiros.

Além das variáveis reflexivas acima descritas, foram definidas duas variáveis de controle do constructo *desempenho socioeconômico*, a fim de garantir que fenômenos ocasionais não previstos estivessem explicando o constructo e, portanto, interferindo em seus resultados. Conforme orienta IBGE (2015), foram definidas as variáveis de controle *porte* e *origem do capital de controle*. Contudo, nenhuma das duas variáveis teve a capacidade de explicar o constructo desempenho socioeconômico e foram excluídas do modelo final.

Analizada a variável dependente *desempenho socioeconômico*, é possível avaliar suas relações com as variáveis mediadoras do estudo. Para tanto é retomado o segundo objetivo do estudo, de “*verificar a influência da introdução de ecoinovações de produto, ecoinovações de processo e ecoinovações organizacionais, sobre o desempenho socioeconômico de empresas*”. Três relações (caminhos) entre as variáveis mediadoras e a variável dependente foram hipotetizadas e testadas. Dentre elas, duas foram comprovadas, conforme segue:

- A comprovação da H⁴ demonstrou que a introdução de ecoinovações de produto está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas.
- A não comprovação de H⁵ demonstrou que a introdução de ecoinovações de processos industriais não está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas.
- A comprovação de H⁶ demonstrou que a introdução de ecoinovações organizacionais está positivamente associada ao desempenho socioeconômico de empresas.

As relações entre as duas variáveis mediadoras e a variável dependente, *desempenho socioeconômico*, foram satisfatoriamente explicadas em 51,3%. De acordo com os resultados estatísticos apresentados do capítulo precedente, das duas relações comprovadas a que mais contribuiu para a explicação do resultado final do modelo foi a do constructo *ecoinovação organizacional*, seguida por *ecoinovação de produto*. Note-se, por meio de tais resultados, o considerável peso da cultura de inovação sobre os resultados sociais e econômicos de empresas. Conforme já mencionado, a ecoinovação organizacional geralmente precede a ecoinovação tecnológica. Uma vez que é a mais representativa, a ecoinovação organizacional parece se firmar como a base para o florescimento da ecoinovação tecnológica de produto.

Já a relação não validada e excluída do modelo sugere que, pelo menos nas empresas pesquisadas, *ecoinovação de processo* não influencia o *desempenho socioeconômico* de empresas. Pode-se depreender que há uma relativa subjetividade nas inovações de processo e uma consequente dificuldade de serem percebidas. É possível que a relação de fato não seja estatisticamente válida, resultado que foi confirmado por estudo de Brasil et al. (2016), contudo, isso contraria os resultados do estudo de Cheng et al. (2014), no qual a relação foi validada.

A separação de indicadores de inovação de processo dos de inovação de produto é uma dificuldade já observada na literatura de inovação. O próprio Manual de Oslo já identifica que processos são intrínsecos a produtos e que pode haver limitada percepção de resultados quando ambos são mensurados separadamente. Daí surge certa predileção acadêmica de investigar o fenômeno inovação de processo e de produto como um único constructo de inovação tecnológica. Note-se que a exclusão da relação entre ecoinovação de processo e desempenho socioeconômico não inviabilizou a validação do MEE. Apenas evidenciou que uma relação estatística válida entre as variáveis não pôde ser captada por meio do instrumento utilizado e/ou amostra de empresas pesquisadas.

6 CONCLUSÕES

As conclusões específicas relacionadas ao Modelo Conceitual do Estudo são inicialmente apresentadas para, em seguida, serem apresentadas as conclusões gerais do estudo. Por fim, são apresentadas as limitações e as sugestões de estudos futuros.

6.1 Conclusões específicas

A principal conclusão deste estudo é a de que a cooperação em P&D, mediada pela introdução de ecoinovações, explica satisfatoriamente o desempenho socioeconômico de empresas industriais. Dito de outro modo, conclui-se que é possível uma empresa ser ambientalmente e socialmente sustentável e ter lucro ao mesmo tempo. Assim, dado que ecoinovação permite resultados ambientais, sociais e econômicos satisfatórios, cai por terra o paradigma da indústria tradicional poluidora, que não considera que recursos naturais são finitos, não usa energia renovável, não reduz o uso de matérias primas, não reutiliza e não recicla materiais.

Outras conclusões são apresentadas a seguir e envolvem tanto os constructos quanto as relações de caminhos entre os constructos do MCE.

Conclui-se que as empresas pesquisadas possuem práticas de cooperação em P&D paralelas à cadeia de valor, com consultorias técnicas e laboratórios de testes e ensaios. Tais relações indicam prioridades em relacionamentos tecnológicos na fase intermediária da inovação, do P&D pré-competitivo, em que se realizam testes e ensaios, prototipagem ou testes de campo. Também cooperam à montante da cadeia de valor, com fornecedores; paralelamente à cadeia, com universidades e ICTs; e à jusante da cadeia, com clientes e consumidores. As empresas não cooperam em P&D com concorrentes, o que sugere restrições quanto à formação de vínculos de conhecimento com suas rivais. Ainda, a internacionalização da P&D e a adoção do sistema de gestão ambiental ISO 14.001 não possuem a capacidade de explicar a priori e controlar a variável cooperação em P&D. Também se conclui que a cooperação em P&D explica satisfatoriamente a introdução de ecoinovações de produto no mercado, a introdução de ecoinovações em processos industriais e a introdução de ecoinovações organizacionais.

Conclui-se que fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos executam estratégias de sustentabilidade ambiental por meio da introdução de ecoinovações organizacionais e tecnológicas. As indústrias pesquisadas vão além do aspecto tecnológico e também realizam

ecoinovações sob o aspecto não tecnológico, de orientação de gestão. Usam novos sistemas para gerenciar ecoinovações, a exemplo das certificações, da gestão da cadeia de suprimentos, da produção enxuta e da gestão da qualidade; desenvolvem equipes para coordenação de atividades de ecoinovação; coletam informações sobre tendências em ecoinovação; comunicam informações sobre ecoinovação aos colaboradores; comunicam experiências entre os vários departamentos envolvidos em ecoinovação; e investem em projetos de P&D em ecoinovação.

Conclui-se que as empresas investigadas realizam ecoinovação tecnológica de processo, de produção mais limpa (P+L) e atendem aos princípios ambientais: previnem as contaminações do solo, da água e do ar; atendem a legislação ambiental quanto às emissões de CO₂ e geração de resíduos e de ruídos; reduzem o uso de recursos, tais como matéria-prima, água e eletricidade; reciclam, reutilizam e remanufaturam materiais ou componentes; e utilizam energia mais limpa ou renovável.

Conclui-se que as empresas pesquisadas realizam ecoinovação tecnológica de produto, buscando reduzir seus impactos sobre o meio ambiente e atender aos princípios ambientais, de: enfatizar a decomposição dos materiais dos novos produtos desenvolvidos; desenvolver novos produtos inspirados na natureza; enfatizar a redução dos danos dos resíduos dos novos produtos desenvolvidos; utilizar materiais naturais nos novos produtos desenvolvidos; e enfatizar a reciclagem dos componentes dos novos produtos desenvolvidos. Por outro lado, conclui-se que as indústrias evidenciam atraso tecnológico nos produtos elétricos e eletrônicos, uma vez que não simplificam as embalagens, não simplificam a construção, e não priorizam a eficiência energética dos novos produtos.

Conclui-se, ainda, que a cooperação em P&D, mediada pela introdução de ecoinovações organizacionais e de produto, explica satisfatoriamente o desempenho socioeconômico das empresas investigadas. Paralelamente, conclui-se que cooperação em P&D, mediada pela introdução de ecoinovações de processo, não explica satisfatoriamente o desempenho socioeconômico das empresas investigadas.

Em desempenho social, conclui-se que as empresas perceberam melhorias na avaliação de fornecedores quanto aos impactos sobre a sociedade; no envolvimento com a comunidade local; nas políticas anticorrupção e anticompetitivas; e nas conformidades com as leis e regulamentos. Em desempenho econômico, conclui-se que as empresas perceberam melhorias na rentabilidade financeira; nas vendas; na participação de mercado; e no retorno sobre o investimento (ROI). Após as conclusões específicas são apresentadas as conclusões gerais do estudo.

6.2 Conclusões gerais

A mensuração do aspecto social foi considerada neste estudo justamente por ter sido negligenciada em estudos precedentes, uma vez que o conhecido paradigma *Triple Bottom Line* define há mais de duas décadas que os âmbitos ambientais e sociais são duas das três bases do tripé sustentador da sobrevivência de uma empresa, juntamente com a base econômico-financeira. Então, qual seria a função de uma inovação que não considera nem cuida das relações sociais com os públicos de interesse, notadamente comunidades e fornecedores? Por óbvio, é uma inovação limitante. Muito além do lucro, empresas precisam sim construir relações sociais sustentáveis com seus entornos e com a sociedade em geral.

Deve ser notado que as relações estruturais entre as variáveis do modelo testado apresentaram resultados satisfatórios, porém moderados. Com tais resultados, é possível inferir que dada a relação positivamente comprovada entre as variáveis do modelo, haveria uma possibilidade de melhoria dos resultados, de moderados para substanciais, caso as empresas aumentassem ainda mais suas capacidades de cooperar em P&D e de adotar ecoinovações organizacionais e tecnológicas.

É possível ancorar estratégias tecnológicas em resultados moderados, porém tais resultados impõem maiores riscos, uma vez que estão próximos aos resultados fracos, e representam comparativamente o estado “morno” da estratégia. Na estratégia morna, as inevitáveis crises econômicas e a competição mundial poderão deixar a empresa vulnerável perante seus mercados de atuação. Resultados substanciais podem representar, por outro lado, a segurança de que os mercados serão fiéis aos seus produtos em qualquer tempo.

Um excelente indicativo de resultados substanciais são as ecoinovações organizacionais, um dos componentes da tríade de ecoinovação investigada neste estudo. Sabe-se que a inovação é baseada na criatividade humana. As empresas mais inovadoras do mundo já compreenderam que para que essa criatividade floresça há que se criar um ambiente organizacional criativo e assim já desenvolvem uma cultura de inovação que é desdobrada por meio de inovações organizacionais, ou ecoinovações organizacionais, no caso das mais sustentáveis.

Ancorada a estratégia de ecoinovação organizacional, é possível para a empresa avançar para as ecoinovações tecnológicas de processos e de produtos. O poder das ecoinovações tecnológicas reside na prevenção. A partir das ecoinovações tecnológicas, a empresa dá um salto tecnológico em sustentabilidade ambiental, uma vez que avança da reação aos danos ambientais para a prevenção dos danos ambientais. No nível dos processos,

já não se sustenta a justificativa de que empresas são apenas fabricantes de bens intermediários e não controlam a demanda nem os excessos do consumo humano. Ora, justamente por passar por seus parques produtivos é que processos e produtos devem ser dotados de atributos da sustentabilidade ambiental e social, a fim de se chegar aos ganhos econômicos de maneira justa e limpa. Pela premissa da razão, não existe produto “limpo” se a manufatura desse produto for “suja”. Caso queira de fato ser sustentável e assegurar sua sobrevivência, todos os processos de produção industrial devem estar de acordo com os três níveis da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. Não deve haver exceção na adoção de processos limpos.

Destaca-se que importantes atributos de uma ecoinovação de produto são a eficiência energética e as embalagens. Se, por um lado, as empresas investigadas estão reusando e reciclando, por outro lado estão falhando no desenvolvimento de produtos com eficiência energética e com embalagens simples, uma vez que tais indicadores não foram validados neste estudo. Servem tais resultados de alerta para a correção da rota tecnológica das empresas pesquisadas. Caso a empresa não assuma sua parcela de responsabilidade para com seus processos de produção e produtos, caberá aos clientes e consumidores despertos tomar a atitude de excluir os produtos dessas empresas de suas opções comerciais. A atenção do consumidor na compra tem um efeito reverso na indústria. Para, por exemplo, ter certificação ambiental, um produto precisa ter passado por processos produtivos limpos, capazes de diminuir na fonte a extração de recursos naturais, diminuir desperdícios e reciclar resíduos internos. Já na lógica do produto, deve haver preocupação com a embalagem, com a logística e com descarte pós-uso. Ademais, o próprio produto, seja via conceito, manual de uso, embalagem, ou publicidade e propaganda, também deve ensinar aos seus clientes e consumidores que uma vez adquirido, deve ser corretamente descartado para ser em seguida reciclado.

Pela premissa da liderança pelo exemplo, a empresa âncora é a primeira responsável pela adoção da rota ecoinovadora. Precisa avaliar com precisão o seu quintal produtivo e ecoinnovar. Quando tiver feito sua lição de casa, deve auxiliar os parceiros de sua cadeia a fazer o mesmo. A falha da cadeia de valor na introdução de ecoinovações poderá resultar em desastre ambiental, a exemplo do conhecido descarte inadequado de produtos eletroeletrônicos no mundo inteiro. São as empresas do setor de eletroeletrônicos notáveis usuárias de minerais raros e geradoras de resíduos tóxicos. Avanços já são percebidos, mas ainda têm sido letárgicas as estratégias de logística reversa, responsáveis pelo recolhimento desses produtos do mercado após o descarte. Sabe-se que produtos elétricos e eletrônicos

possuem em seus componentes metais raros e preciosos. Não reciclar tais materiais é o mesmo que manter a estratégia tecnológica baseada em desempenho fraco e em pseudossustentabilidade, o que provavelmente conduzirá a empresa à descontinuidade, uma vez que já se sabe que desempenho substancial e longo é aquele ancorado na lógica do *Triple Bottom Line*. Portanto, é responsabilidade mínima das indústrias desenvolverem seus produtos sob os auspícios da ecoinovação. Ademais, atributos tecnológicos e organizacionais da ecoinovação podem ser tomados como diferenciais competitivos. Tome-se o exemplo das empresas investigadas neste estudo que, malgrado alguns atributos ecológicos de produto, estão fazendo a sua parte ao perceber ganhos ambientais, sociais e econômicos a partir de suas posições de mercado.

Fica o alerta e também a sugestão de solução às empresas que ainda não sabem ou não desejam desenvolver produtos com todos os atributos da ecoinovação tecnológica. Este mesmo estudo sugere o caminho a se adotar, da cooperação em P&D. Sabe-se ser a cooperação em P&D uma notável estratégia para resolução de problemas técnicos que não puderam ser superados a partir do *know how* detido internamente. Cabe à empresa desenvolvê-los a partir da cooperação com parceiros tecnológicos, o que pode ir desde o conceito do produto, passar pelas diferentes engenharias, até chegar à construção de plantas piloto sustentáveis. Não por acaso cooperação é o primeiro constructo do modelo conceitual deste estudo. Os resultados demonstram que cooperar é vantajoso, pois é uma via de mão dupla, diferentemente de colaboração. Ao se cooperar, dilui-se o interesse individual da empresa e manifesta-se o interesse do grupo, da rede, da comunidade, da cidade, do país; e por que não do Planeta?! Cooperação é uma receita natural de sucesso da natureza. A natureza coopera desde sempre. A evolução natural dos sistemas está diretamente ligada à cooperação natural entre esses mesmos sistemas. Se cooperam, sobrevivem, se não cooperam, são descontinuados.

Mas a natureza não somente coopera, também ecoinova, ou seja, reduz, reusa e recicla a todo o instante. Cooperar e ecoinnovar são atividades que têm justificado a sobrevivência dos sistemas naturais. A natureza é ecoeficiente a todo tempo, reduz ao máximo o seu impacto nos sistemas em que coabita. Se autoabastece exclusivamente do que precisa e tudo evolui pois não há excesso. Reusa tudo o que for possível nos mais diversos processos criativos e recicla incansavelmente, pois já “aprendeu” que “não há fora”. E tem mais: aprendeu a absorver e armazenar sua energia, limpa, a partir dos abundantes calor e luminosidade do Sol. Não remexe em fósseis que o sistema geológico terreno já fez o favor de enterrar, o que estabilizou

a biosfera e criou condições para o florescer da vida. O resultado de tamanha eficiência é a sobrevivência.

Mas é vantajoso para as empresas acessarem tais conhecimentos da vasta experiência natural? Sem dúvidas, pois é um conhecimento já disponível construído ao longo de milhões de anos e é também gratuito. Caso a biomimética não resolva o problema tecnológico diretamente, poderá inspirar o ecodesign para tal. Ademais, percebe-se a vantagem econômica do uso da biomimética para as empresas, ao se evitar as conhecidas perdas bilionárias em P&D, sem contar com a duplicidade de investimentos em P&D entre as operantes na mesma cadeia de valor. De toda forma, parece fazer muito sentido replicar o modelo natural nas empresas, uma prática ecoinovadora comprovada por este estudo. Mimetizar a natureza em processos de P&D é mais simples do que pode parecer. Pelo estudo do tema é possível depreender que a P&D baseada na biomimética poderia ser realizada a partir de três etapas técnicas: (i) identificar o problema tecnológico a ser resolvido, que também pode envolver a melhoria ou criação de um produto; (ii) pesquisar como a os sistemas naturais resolveram problema equivalente; e (iii) replicar tecnologicamente a solução encontrada na natureza. Por premissa natural tal solução será sustentável, uma vez que tudo na natureza é sustentável, pois há respeito ao *Holos*.

Chegou o tempo de todas as empresas se integrarem ao todo planetário e corrigir a equivocada opção pela rota tecnológica poluidora. Não corrigir o rumo da relação econômica com a Terra poderia ser qualificado como responsabilidade corporativa de lesa ao Planeta. Jaz com Milton Friedman e seus seguidores a crença limitante de que a empresa deve perseguir única e exclusivamente o lucro, de que responsabilidade social é um dever único do Estado, e de que a função da natureza é a de servir aos caprichos humanos, nem que custe sua exaustão. Esse é um típico exemplo de legado científico triste, pois errou ao ignorar o *Holos*, no qual todos são responsáveis por todos.

Estratégias tecnológicas baseadas em premissas ultrapassadas não garantem a continuidade da empresa. É a capacidade de adaptar o modelo de negócios às necessidades planetárias de cada tempo o que garante a sobrevivência da empresa. O tempo geológico tem demonstrado que as mudanças climáticas planetárias são, além de constantes naturais, também originadas pelo fenômeno de adaptação biogeoquímica da Terra. Dito de outro modo, mudanças climáticas são reações do Planeta à ação do homem, demonstrando que a lei física de ação e reação é implacável com tudo e com todos. Dadas às evidências da Teoria de Gaia, então as empresas devem adaptar seus modelos de negócios à realidade do equilíbrio. É a vida o centro holístico do universo. Toda ciência que for contra a lógica da manutenção equilibrada

da vida é uma ciência sem herança, que já nasce fadada ao esquecimento. É pelo crivo da razão da manutenção da vida que o conhecimento e o reconhecimento do conhecimento devem passar.

E quais as vantagens para as empresas na ancoragem de estratégias de manutenção da vida no Planeta?

Primeiro, a própria manutenção da vida, uma vez que Marte, o primeiro vizinho terreno, é um bom espelho do que significa ser um planeta estéril e sem vida.

Segundo, por que há sim uma recompensa para as estratégias ambientais de empresas, pois podem dar um salto em criação de valor sobre o produto, e também cobrar por isso. A sustentabilidade é um “bônus” que o consumidor está disposto a pagar às indústrias, desde que usem eticamente o seu poder socioambiental.

Terceiro, por que percorrido o desafiador filtro da sustentabilidade em todos os níveis, automaticamente emergirá na empresa uma vantagem difícil de ser copiada, comprada ou negociada: sua reputação. O Homem está acordando de uma espécie de sono voluntário profundo, e observa agora com mais atenção quais são os materiais componentes dos produtos que está comprando. Fica atento ao uso de mão de obra escrava e infantil no processo produtivo. Busca nos produtos o símbolo da reciclabilidade e da certificação ambiental. Está atento à responsabilidade cidadã da empresa, do cuidado com os entornos e com o Planeta. São valores diretamente ligados à reputação da empresa. Mesmo que ainda pouco percebida cientificamente, é a reputação uma base estratégica inequívoca para longevidade de empresas. Longevidade, por sua vez, é uma bela herança que demonstra que a empresa teve a inteligência gerencial de se adaptar às inevitáveis mudanças tecnológicas.

Importante frisar que este estudo não se opôs ao lucro em nenhum momento, apenas esclarece que há dois pesos e duas medidas em gestão de empresas. O primeiro, de considerar o desempenho econômico mais importante do que os desempenhos ambiental e social. E o segundo, da busca do equilíbrio entre os três vetores. Além da expansão da visão gerencial, também é necessário aperfeiçoar a lógica da mensuração do sucesso de uma empresa. É inevitável aliar índices de sustentabilidade ambiental e social aos econômicos, para então se medir justamente quem é quem no Planeta.

Por fim, destaca-se que as implicações gerenciais e teóricas anteriormente apresentadas seriam utópicas se não se chegasse às universidades e aos governos, que fazem parte da quádrupla relação que também envolve as empresas e a sociedade. Essa relação quádrupla sustenta um Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCT&I) competitivo.

Quanto às universidades, devem sem demora se adequar à nova realidade mundial, do ensino e da pesquisa interdisciplinar em sustentabilidade planetária e também nas demais áreas científicas. É a interdisciplinaridade que permite a transferência de métodos de uma disciplina para outra, além de também ser a base para a criação de novas disciplinas e novos métodos de pesquisa. Os problemas de pesquisa aumentam em complexidade e exigem do cientista abordagens holísticas e interdisciplinares, a fim de resolver as frações que lhe cabem do maior problema científico do tempo presente, de manutenção da vida sem sofrimento humano e animal na Terra.

Outro ponto nevrálgico é a transferência de conhecimentos das universidades para a sociedade. Conhecimentos incubados nas universidades são inócuos para a sustentabilidade do Planeta. Urge a implantação de políticas universitárias eficazes de transformação de conhecimentos básicos em conhecimentos aplicados, e de transferência de tecnologias patenteadas das universidades para empresas aptas ao desenvolvimento de ecoinovações. Na mesma linha, também são necessárias melhorias nas políticas tecnológicas de cooperação em P&D, capazes de apoiar as ainda precárias relações universidade e indústria no Brasil.

É necessário lembrar que a ciência também está em cheque perante o Planeta, juntamente com empresas, governo e sociedade. Não houvesse falhas também na ciência, talvez a Terra não estivesse perdendo diariamente tantas espécies animais ou vegetais. Trata-se da pior onda de extinções desde a dos dinossauros, segundo estudos da ONU em diversidade biológica. É o pesquisador o vetor da mudança na universidade. Cooperação e desapego da ilusória propriedade do conhecimento é caminho inevitável, uma vez que o conhecimento verdadeiramente passa a existir quando é difundido.

Quanto aos governos, cabe definirem políticas objetivas de apoio à ecoinovação em universidades, ICTs e em empresas, incentivado via subsídios públicos e financiamento a cooperação em P&D. Embora o tema venha sendo difundido desde a conferência Eco92, indústrias ainda estão se adaptando a essa prática, notadamente porque a legislação e os incentivos governamentais relacionados ao tema estão em evolução no Brasil e na maioria dos países, o que pouco estimula a gestão do produto “do berço ao berço”. Quanto às universidades e ICTs, ambos necessitam investimentos governamentais continuados e consistentes tanto em pesquisa básica quanto aplicada, o que pode fortalecer o SNCT&I. A experiência de países desenvolvidos demonstra que um SNCT&I robusto é mundialmente competitivo e tem a capacidade de impactar diretamente sustentabilidade ambiental, social e econômica da nação, uma vez que estimula, por exemplo, a gestão responsável dos recursos naturais, a geração de emprego e renda, e a balança comercial positiva a partir da exportação

de produtos com alto valor agregado. Lembra-se, entretanto, que a robustez de um SNCT&I também deve ser medida por seu impacto no Planeta, notadamente cooperando internacionalmente e transferindo ecoinovações tecnológicas para países pobres. Sem dúvidas essa é uma agenda governamental, mas que também depende dos demais agentes, empresas, universidades e sociedade.

Dos governos também é requerido mais, especialmente a tão esperada mudança de mentalidade em gestão pública de recursos naturais, além da execução das leis capazes de viabilizar a sustentabilidade planetária. No Brasil, em especial, é urgente acelerar o processo de coleta seletiva de produtos recicláveis em todos os municípios brasileiros por meio da execução da Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS é um importante marco legal que, se realmente executado, será capaz de melhorar a imagem do Brasil quanto ao enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, incluindo produtos elétricos e eletrônicos incorretamente descartados. Também urge ação governamental na fiscalização e cumprimento da Lei de Crimes Ambientais a fim de que se garanta uma relação sustentável de todas as empresas com o Planeta, sem exceção. Políticas de apoio à geração e distribuição de energia limpa são outro nevrálgico ponto para as ecoinovações. Governos devem ter ingerência decisiva e ágil no aumento da matriz energética de fonte renovável.

Enfim, universidades e governos criam as bases de um SNCT&I, que em seguida são pavimentadas pelas empresas e pela sociedade, então poucos caminhos seriam mais interessantes do que a atuação sustentável desses quatro agentes na educação e adaptação ambiental da superpopulação da Terra. A ONU Habitat estima que a população do Planeta estabilize o crescimento em 2100, com uma população estimada entre nove e dez bilhões de habitantes. Muito antes do final do século, o Planeta também precisa migrar para uma matriz energética limpa, uma rota tecnológica já seguida por cidades e países com metas objetivas de chegar à emissão neutra de carbono até 2050.

Para isso é preciso que seres humanos em geral aprendam a cocriar com o Planeta, assumindo o seu poder construtivo. Apesar da insistência nos excessos e nos combustíveis fósseis, o homem é dotado de senso de urgência e de racionalidade. É uma espécie que evoluiu tanto até descobrir o dual, e no dual reside o excesso, lado diametralmente oposto do não usufruir. Lembre-se que, embora evoluída, o *Sapiens Sapiens* é uma espécie retardatária na Terra. Quando os hominídeos se desenvolveram neste Planeta, a estrutura biogeoquímica já estava pronta, com ar para respirar e com frutos para comer. Dito de modo literal, a casa já estava pronta para morar. Por tudo isso é possível concluir que é prioridade inteligente

integrar-se ao sistema maior, Planetário, pois é o sistema que até agora vem vencendo. É preciso pisar devagar na Terra. A Terra, Pachamama-Gaia, já demonstrou sua incrível capacidade de varrer espécies de seu mapa e de legar à fossilização os ossos dessas espécies como prova inequívoca da inferioridade do “hóspede”, aquele que chega depois do que está construído.

Mas tem sido louvável a superação humana de se redimir tecnologicamente perante o Planeta. Emerge toda sorte de ecoinovações em todos os setores econômicos, ancorando o paradigma holístico da sustentabilidade. Então é chegado o tempo de avançar do discurso retórico para o discurso de futuro. Foi inevitável para este estudo remexer na passada trajetória humana na Terra. É a didática do exemplo passado que permite a criatividade e a inovação no futuro. É começado o terceiro milênio. Superada a fase de comprovação, ora pelo método de mensuração, ora pela experimentação na própria pele, ciência, empresas, governos e sociedade agora harmonizam o discurso sobre a fase pós-mudanças climáticas. Também as ecoinovações agora contribuem para que a vida continue na Terra. Há que se celebrar o potencial criativo humano de se aligeirar rumo ao legado e à manutenção da espécie. Um legado destrutivo é um legado triste. Cabe ao homem do tempo presente despertar e deixar o legado construtivo do tempo em que foi ajustada a relação tecnológica do homem com a Terra.

6.3 Limitações e sugestões de estudos futuros

Além de limitações metodológicas já mencionadas no item 3.4, também se destacam as limitações teóricas. Sabe-se que uma empresa pode realizar paralelamente inovações ambientais tanto em processo quanto em produto. Em geral, essa é uma prática das empresas que realizam ecodesign, ou avaliação do ciclo de vida (ACV) do produto, “do berço ao berço”. Isso, contudo, não é regra. No presente estudo não foi possível isolar um universo/amostra de empresas com tendência à realização de ecodesign ou avaliação do ciclo de vida do produto. Assim, um produto pode ter passado por um processo de produção mais limpa (P+L), sem necessariamente ter eficiência energética e ter logística reversa de reciclagem, por exemplo. O contrário também pode ser verdade.

Ainda sobre as limitações teóricas, por se tratar de um tópico emergente de estudo, é possível que outras variáveis possam especialmente compor os constructos de ecoinovação. Muito embora a variável biomimética tenha sido validada como um novo indicador de

ecoinovações de produto, destaca-se a necessidade de estudos futuros investigarem outras variáveis relacionadas ao tema e percebidas em pesquisas mais recentes.

Oportunidades de estudos também são percebidas em ecoinovação organizacional, quanto à experiência da vida natural replicada pelas indústrias, é a simbiose industrial. Na simbiose natural os sistemas retiram da natureza somente o que precisam e suas “sobras” devem necessariamente ser aproveitadas por outros sistemas com os quais cooperam. Na simbiose industrial, uma empresa assume a premissa natural de que no Planeta “não há fora” e então define uma estratégia sustentável de resíduo zero. Qualquer resíduo ou sobra do processo produtivo deve ser encaminhado à outra indústria com a qual coopera em produção. Essa última indústria então incluirá tais resíduos ou sobras, da primeira, em seu processo produtivo. Esse processo também pode ser circular, entre as diferentes empresas da cadeia de valor. É fundamental compreender como e em que medida as relações de simbiose industrial podem ser gerenciadas por empresas. A partir da simbiose industrial também emerge outro tópico com potencial de pesquisa futura, em coopetição com concorrentes.

Os estudos mencionados acima também estão ligados a outro conceito com potencial de pesquisa, a economia circular. Um dos princípios da economia circular é a gestão de recursos naturais, a fim de manter produtos e materiais naturais em seu mais alto nível de utilidade e valor, o tempo todo. Pela complexidade que o envolve é um tópico ainda carente de contribuições científicas. Em melhoria do desempenho socioeconômico de empresas há potencial para pesquisas baseadas na Teoria da Utilização Progressiva (PROUT), que apresenta alternativas para o combalido sistema capitalista vigente, quanto à utilização apropriada dos recursos naturais e quanto à economia democrática.

Outros estudos poderão investigar em profundidade por que a associação entre ecoinovações de processo e desempenho socioeconômico não está sendo percebida pelas empresas. Ainda, poderão testar a influência das ecoinovações sociais e ecoinovação de marketing sobre o desempenho de empresas. Poderão também estudar os graus de ecoinovação, radicais ou incrementais uma vez que uma tecnologia pode ser mais ou menos ecoinovadora. A relação entre o grau de ecoinovação e a cooperação em P&D poderia ser um tópico seguinte de estudo. Temas investigando o conceito de sistemas de ecoinovação, notadamente via Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), também possuem potencial de pesquisa futura. Por fim, estudos podem investigar a relação entre os emergentes conceitos da Indústria 4.0 e a introdução de ecoinovações em empresas.

REFERÊNCIAS²

- Almeida, C. M. V. B., Agostinho, F., Huisingh, D., & Giannetti, B. F. (2017). Cleaner Production towards a sustainable transition. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1-7.
- Aragón-Correa, J. A. (1998). Strategic proactivity and approach to the natural environment. *Academy Management Journal*, 41(5), 556-567.
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(5), 237-276.
- Arruda, M., Vermulm, R., & Hollanda, S. (2006). *Inovação tecnológica no Brasil: a indústria em busca da competitividade global*. São Paulo: Associação Nacional de P&D das Empresas Inovadoras.
- Arundel, A., & Kemp, R. (2009). *Measuring eco-innovation*. Working Paper Series – United Nations University (UNU). Recuperado de www.merit.unu.edu/publications/wppdf/2009/wp2009-017.pdf.
- Aristóteles. (1999). *The Metaphysics*. Nova Iorque, NY: Penguin Classics.
- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – Abinee (2017). *Panorama Econômico e Desempenho Setorial: 2017*. Recuperado de <http://www.abinee.org.br/programas/50anos/public/panorama/index.htm#1>.
- Banco Mundial, & Climate Works Foundation. (2014). *Climate-Smart Development: adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change*. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/18815/889080WP0v10RE0Smart0Development0Ma.pdf?sequence=1>.
- Barrientos, F., & Montes, O. (1998). Vientos Del Alma [Mercedes Sossa]. Em *Al Despertar*. [CD]. Argentina: Polygram Music.
- Bayona, C., García-Marco, T., & Huerta, E. (2001). Firms' motivations for cooperative R&D: an empirical analysis of Spanish firms. *Research Policy*, 30(8), 1289–1307.
- Becker, W., & Dietz, J. (2004). R&D cooperation and innovation activities of firms-evidence for the German manufacturing industry. *Research Policy*, 33(2), 209–223.
- Beggs, P. J. (2004). Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clinical and Experimental Allergy*, 34(10), 1507-1513.
- Belderbos, R., Carree, M., & Lokshin, B. (2004). Cooperative R&D and firm performance. *Research Policy*, 33(10), 1477–1492.
- Benyus, J. M. (2003). *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Bertalanffy, L. (1969). *General System Theory: foundations, development, applications*. Nova Iorque, NY: George Braziller.

² De acordo com o estilo APA (American Psychological Association).

- Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42-56.
- Brasil, M. V. O., Abreu, M. C. S., Filho, J. C. L. S., & Leocádio, A. L. (2016). Relationship between eco-innovations and the impact on business performance: an empirical survey research on the Brazilian textile industry. *Revista de Administração*, 51(3), 276-287.
- Buck, N. T. (2015). The art of imitating life: The potential contribution of biomimicry in shaping the future of our cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 20, 1-21.
- Cainelli, G., & Mazzanti, M. (2013). Environmental innovations in services: Manufacturing-services integration and policy transmissions. *Research Policy*, 42(9), 1595-1604.
- Callendar, G. S. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 64(275), 223-240.
- Capra, F. (1996). *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Cheng, C. C., & Shiu, E. C. (2012). Validation of a proposed instrument for measuring eco-innovation: An implementation perspective. *Technovation*, 32(6), 329-344.
- Cheng, C. C. J., Yang, C-L., & Sheu, C. (2014). The link between eco-innovation and business performance: a Taiwanese industry context. *Journal of Cleaner Production*, 64, 81-90.
- Cheng, C. C. J., & Huizingh, K. R. E. (2014). When is open innovation beneficial? The role of strategic orientation. *Product Development & Management Association*, 31(6), 1235-1253.
- Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Chin, W. W. (1998). Issues and Opinions on SEM. *Management Information Systems Quarterly*, 22(1).
- Chin, W. W., & Newsted, P. R. (1999). *Structural Equation Modeling Analysis with Small Sample Using Partial Least Squares*. In: Hoyle, R. H. (Org.) Statistical Strategies for Small Sample Research. California, CA: Sage Publications, Inc., 307-341.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Nova Jérsei, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, W., & Levinthal, D. (1989). Innovation and learning: the two faces of R&D. *The Economic Journal*, 99(397), 569-596.
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., & Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8, 1-7.

- De Giorgi, C., Dal Palù, D., & Allione, C. (2015). Development and results of a cross border network project, aimed at the engineering of eco-compatible products. *Journal of Cleaner Production*, 106, 619-631.
- De Marchi, V. (2012). Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms. *Research Policy*, 41(3), 614– 623.
- Descartes, R. (2001). *Discurso do Método*. (2a ed.). São Paulo: Martins Fontes.
- Du, J., Leten, B., & Vanhaverbeke, W. (2014). Managing open innovation projects with science-based and market-based partners. *Research Policy*, 43(5), 828–840.
- Eco-Innovation Observatory - EIO. (2013). *Europe in transition: Paving the way to a green economy through eco-innovation*. Recuperado de http://www.eco-innovation.eu/images/stories/Reports/EIO_Annual_Report_2012.pdf.
- Elkington, J. (2001). *Canibais com garfo e faca*. São Paulo, SP: Makron Books.
- Eliade, M. (1957). *Mitos, sonhos e mistérios*. Lisboa, Portugal: Edições 70.
- Eurostat. (2012). *The Community Innovation Survey 2012*. Recuperado de <http://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/community-innovation-survey>.
- Figueroa, J. D., Fout, T., Plasynski, S., Mcllvried, H., & Srivastava, R. D. (2008). Advances in CO₂ capture technology—The U.S. Department of Energy’s Carbon Sequestration Program. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2(1), 9-20.
- Fink, A. (2003). *The survey handbook: The survey kit*. (2a ed). Califórnia, CA: Sage Publications.
- Fornel, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing*, 18(1), 39-50.
- Freeman, C., & Soete, L. (1997). *The Economics of Industrial Innovation*. (3a ed). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Friedman, M. (1970, 13 de setembro). The social responsibility of business is to increase its profits. *The New York Times Magazine*, p. 17.
- Fritsch, M., & Lukas, R. (2001). Who cooperates on R&D? *Research Policy*, 30(2), 297-312.
- Fronzel, M., Horbach, J., & Rennings, K. (2003). *End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries*, 04-82. Recuperado de <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp0482.pdf>.
- Gitman, L. J. (2012). *Principles of Managerial Finance*. (13a ed.). San Diego, CA: Pearson.
- Global Reporting Initiative – GRI. (2013). *G4 Sustainability Reporting Guidelines*. Recuperado de <https://www.globalreporting.org/resource/library/GRI4-Part1-Reporting-Principles-and-Standard-Disclosures.pdf>.
- Hagedoorn, J., Link, A. N., & Vonortas, N. S. (2000). Research partnerships. *Research Policy*, 29(4-5), 567–586.

- Hair, F. J. JR., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*. (6a ed). Porto Alegre, RS: Bookman.
- Hair, F. J. JR., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2014). *A primer on partial least squares structural equation modelling (PLS-SEM)*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Hegel, G. W. F. (2005). *The phenomenology of mind*: Volume 1. Traduzido por Baillie, J. B. Nova Iorque, NY: Cosimo Classics.
- Hemmelskamp, J. (1999). *The influence of environmental policy on innovative behaviour*: An econometric study. Fondazione Eni Enrico Mattei, 18.99.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, 20, 277-319.
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163–173.
- Horbach, J., Rammer, C., & Rennings, K. (2012). Determinants of eco-innovations by type of environmental impact: The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Ecological Economics*, 78, 112–122.
- Hourneaux, F., Hrdlicka, H. A., Gomes, C. M., & Kruglianskas, I. (2014). The use of environmental performance indicators and size effect: A study of industrial companies. *Ecological Indicators*, 36, 205-212.
- Hulburt, E. O. (1930). Ionization in the upper atmosphere variation with longitude. *Physical Review*, 35, 240-247.
- Im, S., & Workman, J. P. (2004). Market orientation, creativity, and new product performance in high-technology firms. *Journal of Marketing*, 68(2), 114-132.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2015). *Pesquisa de Inovação - PINTEC – 2014*. Recuperado de www.pintec.ibge.gov.br/.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2016a). *Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)*. Recuperado de <http://www.cnae.ibge.gov.br/>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016b). *Pesquisa de inovação: 2014*. Recuperado de <http://www.pintec.ibge.gov.br/downloads/PUBLICACAO/PUBLICA%C3%87%C3%83O%20PINTEC%202014.pdf>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014). *Climate change 2014 synthesis report summary for policymakers*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf.
- International Organization for Standardization - ISO. (2015). *ISO 14001:2015 - Environmental management systems - Requirements with guidance for use*. (3a ed). Genebra, Suíça.
- Josephine Wall Gallery. (2017). *Breath of Gaia*. Recuperado de http://www.josephinewall.co.uk/breath_gaia.html.

- Keeling, C. D. (1958). The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 13(14), 322-334.
- Kemp, R. (1997). *Environmental policy and technical change: A comparison of the technological impact of policy instruments*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Kemp, R., & Pearson, P. (2007). *Final report MEI project about measuring eco-innovation*. Recuperado de <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>.
- Klassen, R. D., & Whybar, D. C. (1999). The Impact of Environmental Technologies on Manufacturing Performance. *Academy of Management Journal*, 42(6), 599-615.
- Kuhn, T. S. (2000). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo, SP: Perspectiva.
- Lee, D-L., & Park, C. (2006). Research and development linkages in a national innovation system: Factors affecting success and failure in Korea. *Technovation*, 26(9), 1045–1054.
- Lee, K-H., & Min, B. (2015). Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 108, 534-542.
- Lorenz, E. N. (1996). *A essência do caos*. Brasília: Universidade de Brasília.
- Lovelock, J. E. (1972). Gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 6, 579-580.
- Lurie-Luke, E. (2014). Product and technology innovation: What can biomimicry inspire? *Biotechnology Advances*, (32)8, 1494–1505.
- Mandelbrot, B. B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco, CA: W.H. Freeman.
- Marcovitch, J. (2011). *A gestão da Amazônia: Ações empresariais, políticas públicas, estudos e propostas*. São Paulo, SP: Edusp.
- Marins, C. (2015). *A utilização da abordagem holística em administração: um estudo interpretativo das práticas gerenciais das empresas integrantes da Bolsa de Valores, mercadorias e futuros de São Paulo - BM&FBovespa – Brasil*. (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).
- Martens, M. L., Kniess, C. T., Martens, C. D. P., & Carvalho, M. M. (2016). Um estudo de inovação sustentável em projeto de desenvolvimento de produtos. *Exacta*, 14(3), 477-494.
- Marzal, M. M. (1995). El mito en el mundo andino ayer y hoy. *Anthropologica*, 13(13), 7-21.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2003). Towards a sustaining architecture for the 21st century: the promise of cradle-to-cradle design. *Industry and Environment Review*, 26(2-3), 13-16.
- Mitos + Graphos. (2011). *Pacha Mama*. Recuperado de <http://mitographos.blogspot.com.br/search?q=pachamama>.
- Morin, E. (2000). *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil.
- Morin, E. (2003). *Introdução ao pensamento complexo*. (4a ed). Lisboa: Insituto Piaget.

- Nacla Report on the Americas. (2012). *Earth first? Bolivia's Mother Earth Law meets the neo-extractivist economy*. Recuperado de <https://nacla.org/blog/2012/11/16/earth-first-bolivia%25E2%2580%2599s-mother-earth-law-meets-neo-extractivist-economy>.
- NASA History Office. (2007). *Earthrise viewed from lunar orbit prior to landing*. Recuperado de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/apollo.html>.
- NASA Global Climate Change. (2017). *Climate change: how do we know?* Recuperado de <https://climate.nasa.gov/evidence/>.
- Nakrani, S., & Tovey, C. (2004). On honey bees and dynamic server allocation in Internet hosting centers. *Adaptive Behavior*, 12(3-4), 223-240.
- Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD. (2005). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Recuperado de <http://www.oecd.org/sti/inno/oslomanualguidelinesforcollectingandinterpretinginnovationdata3rdedition.htm>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD. (2009). *Sustainable manufacturing and eco-innovation: synthesis report framework, practices and measurement*. Recuperado de <https://www.oecd.org/innovation/inno/43423689.pdf>.
- Garcez, M. P., Sbragia, R., Kruglianskas, I. (2014). Factors for selecting partners in innovation projects – qualitative evidences from non-equity bilateral alliances in the brazilian petrochemical leader. *Revista de Administração e Inovação*, 11(2), 241-272.
- Paredes, M. R. (1920). *Mitos, supersticiones y supervivencias populares de Bolivia*. La Paz, Bolívia: Arno Hermanos - Libreros Editores.
- Pauw, I. (2015). *Nature-inspired design: strategies for sustainable product development*. Amsterdam, Holanda: Delft Academic Press.
- Petit, JR., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., ... , & Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399(6735), 429-436.
- Piaget, J. (1973). *Estudos sociológicos*. São Paulo, SP: Companhia Editora Forense.
- Popper, K. R. (1972). *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Porter, M. E., & Van Der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-Competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Pujari, D. (2006). Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance. *Technovation*, 26(1), 76–85.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32, 319–332.
- Ringle, C. M., Silva, D., & Bido, D. (2014). Modelagem de equações estruturais com utilização do SmartPLS. *Brazilian Journal of Marketing*, 13(2), 54-71.
- Ringle, C. M., Wende, S., & Becker, J.-M. (2015). *SmartPLS 3*. SmartPLS GmbH: Boenningstedt.

- Russo, M. V., & Fouts, P. A. (1997). A resource-based perspective on corporate environmental performance and profitability. *Academy of Management Journal*, 40(3), 534-559.
- Sagan, C. (1980). *Cosmos*. Rio de Janeiro: Francisco Alves.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodologia de pesquisa*. (3a ed.). São Paulo, SP: McGraw-Hill.
- Sarkar, P. R. (1987). *A liberação do intelecto: neohumanismo*. São Paulo: Artexto.
- Savaget, P., & Carvalho, F. (2016). Investigating the regulatory-push of eco-innovations in Brazilian companies. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 52, 27-37.
- Selltiz, C., Jahoda, M., Deutsch, M., & Cook, S. W. (1974). *Métodos de pesquisa nas relações sociais*. São Paulo: EPU.
- Shrivastava, P. (1995). Environmental technologies and competitive advantage. *Strategic Management Journal*, 16, 183-200.
- Schroder, K.-P., & Smith, R. C. (2008). Distant future of the Sun and Earth revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 386(1), 155-163.
- Smuts, L. C. (1927). *Holism and evolution*. (2a ed.). Londres, UK: Macmillan and Co.
- Solga, A., Cerman, Z., Striffler, B. F., Spaeth, M., & Barthlott, W. (2007). The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces. *Bioinspiration & Biomimetics*, (2)4, 126-134.
- Souto, J. E., & Rodriguez, A. (2015). The problems of environmentally involved firms: innovation obstacles and essential issues in the achievement of environmental innovation. *Journal of Cleaner Production*, 101, 49-58.
- Studart, A. R. (2012). Towards High-Performance Bioinspired Composites. *Advanced Materials*, 24(37), 5024-5044.
- Suh, Y., & Kim, M-S. (2014). Effects of SME collaboration on R&D in the service sector in open innovation. *Management, Policy & Practice*, 14(3), 349-362.
- Tether, B. (2002). Who co-operates for innovation, and why: An empirical analysis. *Research Policy*, 31, 947-967.
- The Natural Edge Project (TNEP). (2004). *Waves of innovation*. Recuperado de <http://www.naturaledgeproject.net/Keynote.aspx>
- Tidd, J., Bessant, J., & Pavit, K. (2008). *Gestão da inovação*. (3a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Tigre, P. B. (2014). *Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil*. (2a ed.). São Paulo, SP: Campus.
- Torrano, J. A. A. (1995). *Teogonia: a origem dos Deuses*. (3a ed.). São Paulo: Iluminuras.

- Tumelero, C., Santos, S. A., & Plonski, G. A. (2012), Inovação tecnológica em empresas intensivas na utilização de conhecimentos técnico e científico: um estudo a partir da visão baseada em recursos (RBV). *Revista de Administração e Inovação*, 4(9), 202-220.
- United Nations Conference on Trade and Development - UNCTAD. (2005). *The impact of FDI on development: globalization of R&D by transnational corporations and implications for developing countries*. Recuperado de http://unctad.org/en/docs/com2em16d2_en.pdf.
- United Nations Environment Programme - UNEP. (2010). *Green Economy: developing countries success stories*. Recuperado de http://www.unep.org/pdf/GreenEconomy_SuccessStories.pdf.
- United Nations Statistics Division - UNSD. (2011). *Classification of Environmental Activities (CEA)* - Information paper. Recuperado de <http://unstats.un.org/unsd/class/intercop/expertgroup/2011/AC234-29.PDF>.
- United Nations Sustainable Development Solutions Network - UNSDSN. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Recuperado de http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
- United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. (2015). *Adoption of the Paris Agreement*. Conference of the Parties – COP21. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.
- United Nations Population Division - UNPD. (2014). *World urbanization prospects: the 2014 revision*. Recuperado de <http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>.
- Veiga, J. E. (Org.). (2012). *Gaia: de mito a ciência*. São Paulo, SP: Senac.
- Veugelers, R. (1998). Collaboration in R&D: an assessment of theoretical and empirical findings. *De Economist*, 146(3), 419-443.
- on Zedtwitz, M., & Gassmann, O. (2002). Market versus technology drive in R&D internationalization: four different patterns of managing research and development. *Research Policy*, 31(4), 569-588.
- Wikimedia Commons (2010). *Feuerbach Gaea*. Recuperado de <http://www.bildindex.de/document/obj19070503>.
- Wong, S. K. S. (2013). Environmental requirements, knowledge sharing and green innovation: Empirical evidence from the electronics industry in China. *Business Strategy and the Environment*, 22(5), 321-338.
- Yuan, Z., BI, J., & Moriguichi, Y. (2006). The Circular Economy: a new development strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 4-8.

APÊNDICE A – Questionário

Dentre as áreas de atuação no setor de fabricação de produtos elétricos e eletrônicos abaixo relacionadas, por favor, marque a que melhor caracteriza a sua empresa.

- Fabricação de componentes eletroeletrônicos
- Fabricação de equipamentos de informática e periféricos
- Fabricação de equipamentos de comunicação
- Fabricação de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos
- Fabricação de geradores, transformadores, equipamentos e materiais elétricos
- Fabricação de eletrodomésticos
- Fabricação de pilhas, lâmpadas e outros aparelhos elétricos
- Fabricação de outros produtos eletroeletrônicos e ópticos
- Minha empresa não atua no setor de eletroeletrônicos

A cooperação em P&D é a troca de conhecimentos por meio de relações formais ou informais, a fim de complementar capacidades e objetivos comuns aos parceiros tecnológicos. Pode envolver a criação ou a melhoria de produtos ou processos em atividades como (i) pesquisas básica ou aplicada, (ii) conceito, (iii) design, (iv) prototipagem, (v) testes ou (vi) construção de plantas piloto.

1) Por favor, atribua uma nota para a frequência das atividades de cooperação em P&D realizadas por sua empresa nos últimos três anos (2014-2016). A nota pode variar de 1 a 10, sendo que 1 significa "nunca" e 10, "sempre".

- Minha empresa coopera em P&D com clientes ou consumidores
- Minha empresa coopera em P&D com fornecedores
- Minha empresa coopera em P&D com concorrentes
- Minha empresa coopera em P&D com consultorias ou laboratórios de testes e ensaios
- Minha empresa coopera em P&D com universidades ou institutos de ciência e tecnologia (ICTs)

Ecoinovação - é o desenvolvimento, melhoria ou adoção de um novo produto, processo de produção, serviço ou método organizacional capaz de reduzir o risco ambiental, a poluição e outros impactos negativos na utilização de recursos - quando comparado a outras alternativas semelhantes.

2) Por favor, atribua uma nota para a frequência das ecoinoações organizacionais realizadas por sua empresa nos últimos três anos (2014-2016). A nota pode variar de 1 a 10, sendo que 1 significa "nunca" e 10, "sempre".

- Minha empresa usa novos sistemas para gerenciar ecoinoações (ex.: certificações, gestão da cadeia de suprimentos, produção enxuta, gestão da qualidade)
- Minha empresa coleta informações sobre tendências em ecoinoação
- Minha empresa desenvolve equipes para coordenação de atividades de ecoinoação
- Minha empresa comunica informações sobre ecoinoação aos colaboradores
- Minha empresa investe em projetos de P&D em ecoinoação
- Minha empresa comunica experiências entre os vários departamentos envolvidos em ecoinoação

3) Por favor, atribua uma nota para a frequência das ecoinovações em processos de produção realizadas por sua empresa nos últimos três anos (2014-2016). A nota pode variar de 1 a 10, sendo que 1 significa "nunca" e 10, "sempre".

Minha empresa melhora processos de produção para prevenir contaminações do solo, da água e do ar

Minha empresa melhora processos de produção para atender a legislação ambiental (ex.: emissões de CO₂, de resíduos e de ruídos)

Minha empresa melhora processos de produção para reduzir o uso de recursos (matéria-prima, água e eletricidade)

Minha empresa melhora processos de produção para reciclagem, reutilização e remanufatura de materiais ou componentes

Minha empresa melhora processos de produção para utilização de energia mais limpa ou renovável

4) Por favor, atribua uma nota para a frequência das ecoinovações de produto realizadas por sua empresa nos últimos três anos (2014-2016). A nota pode variar de 1 a 10, sendo que 1 significa "nunca" e 10, "sempre".

Minha empresa simplifica as embalagens dos novos produtos desenvolvidos

Minha empresa simplifica a construção dos novos produtos desenvolvidos

Minha empresa enfatiza a reciclagem dos componentes dos novos produtos desenvolvidos

Minha empresa enfatiza a decomposição dos materiais dos novos produtos desenvolvidos

Minha empresa utiliza materiais naturais nos novos produtos desenvolvidos

Minha empresa enfatiza a redução dos danos dos resíduos dos novos produtos desenvolvidos

Minha empresa desenvolve novos produtos para usar o mínimo de energia possível

Minha empresa desenvolve novos produtos inspirados na natureza

5) Por favor, atribua uma nota para o desempenho das ecoinovações introduzidas por sua empresa nos últimos três anos (2014-2016). A nota pode variar de 1 a 10, sendo que 1 significa nenhuma melhora e 10, total melhora.

As ecoinovações melhoraram o retorno sobre o investimento (ROI)

As ecoinovações melhoraram as vendas

As ecoinovações melhoraram a participação de mercado (*market share*)

As ecoinovações melhoraram a rentabilidade financeira

As ecoinovações melhoraram o envolvimento com a comunidade local

As ecoinovações melhoraram as políticas anticorrupção e anticompetitivas

As ecoinovações melhoraram as conformidades (*compliance*) com as leis e regulamentos

As ecoinovações melhoraram a avaliação de fornecedores quanto aos impactos sobre a sociedade

6.1) Selecione a opção que caracteriza o porte de sua empresa.

Micro (0-9 empregados)

Pequeno (10 a 49 empregados)

Médio (50 a 249 empregados)

Grande (mais de 250 empregados)

6.2) Selecione a opção que melhor caracteriza a prioridade de P&D de sua empresa.

Minha empresa realiza pesquisa e desenvolvimento (P&D) no Brasil

Minha empresa realiza pesquisa (P) em outros países e desenvolvimento (D) no Brasil

Minha empresa realiza pesquisa (P) no Brasil e desenvolvimento (D) em outros países

Minha empresa realiza pesquisa e desenvolvimento (P&D) em outros países

6.3) Selecione a opção que melhor caracteriza o controle de capital de sua empresa.

Brasileiro

Brasileiro e estrangeiro

Estrangeiro

6.4) Selecione a opção que melhor define a estratégia de sua empresa sobre o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) ISO 14.001.

O SGA 14.001 está implantado em minha empresa

O SGA 14.001 está em implantação em minha empresa

O SGA 14.001 poderá ser implantado em minha empresa

O SGA 14.001 não será implantado em minha empresa

6.5) Selecione a opção que melhor caracteriza a sua função na empresa.

Sócio proprietário

Diretor

Gerente

Supervisor/Coordenador

Administrativo

Pesquisador

Outra função (favor descrever abaixo)

APÊNDICE B – Modelo inicial processado via SmartPLS

	coop_ p&d	eco_ org	eco_ proc	eco_ prod	des_ socioecon	int_ p&d	iso 14001	Porte	capital
Consumidores	0,689	0,353	0,351	0,378	0,257	-0,031	-0,191	-0,101	0,018
Fornecedores	0,723	0,369	0,433	0,417	0,298	0,020	-0,149	0,066	-0,017
Laboratórios	0,789	0,459	0,437	0,428	0,395	0,067	-0,234	0,174	0,060
Universidades/ICTs	0,692	0,393	0,355	0,384	0,386	0,042	-0,217	0,129	0,110
Concorrentes	0,620	0,342	0,301	0,401	0,337	0,081	-0,036	-0,043	0,051
Equipes	0,468	0,871	0,508	0,609	0,565	0,176	-0,467	0,323	0,193
Experiências	0,501	0,896	0,621	0,674	0,623	0,140	-0,386	0,217	0,140
Gestão	0,451	0,766	0,631	0,536	0,533	0,107	-0,377	0,289	0,202
Informações	0,443	0,906	0,614	0,685	0,639	0,156	-0,449	0,250	0,206
Projetos	0,510	0,881	0,508	0,622	0,597	0,145	-0,355	0,296	0,216
Tendências	0,470	0,876	0,610	0,696	0,637	0,114	-0,377	0,258	0,087
Contaminação	0,430	0,592	0,889	0,601	0,485	0,086	-0,370	0,232	0,089
Energia	0,485	0,640	0,782	0,714	0,529	0,104	-0,340	0,201	0,113
Legislação	0,438	0,522	0,871	0,541	0,453	0,103	-0,355	0,203	0,125
Redução	0,443	0,521	0,839	0,577	0,371	0,030	-0,253	0,169	0,089
Reutilização	0,464	0,538	0,842	0,598	0,402	0,063	-0,304	0,162	0,063
Bioinspiração	0,516	0,693	0,562	0,815	0,605	0,102	-0,273	0,140	0,075
Decomposição	0,446	0,628	0,538	0,806	0,543	0,106	-0,293	0,100	0,134
Materiais	0,430	0,534	0,529	0,775	0,448	0,085	-0,198	0,118	0,069

Reciclagem	0,364	0,590	0,609	0,782	0,491	0,079	-0,299	0,082	0,015
Resíduos	0,453	0,641	0,640	0,816	0,557	0,055	-0,288	0,153	0,129
Construção	0,431	0,409	0,505	0,654	0,357	-0,080	-0,142	0,025	-0,037
Embalagem	0,358	0,365	0,504	0,643	0,327	-0,059	-0,074	0,032	-0,135
Eficiência	0,401	0,479	0,459	0,698	0,412	-0,018	-0,167	0,068	0,060
ROI	0,464	0,651	0,485	0,566	0,906	0,024	-0,287	0,207	0,125
Anticorrupção	0,409	0,554	0,453	0,541	0,793	0,123	-0,287	0,257	0,114
Avaliação	0,378	0,563	0,496	0,535	0,857	0,026	-0,285	0,199	0,051
Comunidade	0,401	0,590	0,463	0,537	0,810	0,046	-0,346	0,251	0,131
Conformidades	0,372	0,556	0,469	0,539	0,773	-0,012	-0,285	0,184	0,035
Mercado	0,420	0,633	0,454	0,555	0,909	0,059	-0,290	0,229	0,139
Rentabilidade	0,416	0,608	0,434	0,553	0,915	0,008	-0,278	0,213	0,115
Vendas	0,410	0,599	0,437	0,539	0,907	0,005	-0,276	0,246	0,114

Fonte: Dados da pesquisa

Nota: ao excluir a variável *Concorrentes* (0,620) por meio do método *Stepwise*, a variável *Universidades/ICTs* (0,692) recuperou carga (0,719) e pôde ser mantida no modelo final.

APÊNDICE C – Coeficientes de caminho do modelo geral

Fonte: Dados da pesquisa